

máximo hallado en el año 1995, las capturas fueron un 45 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas (Figura 7).

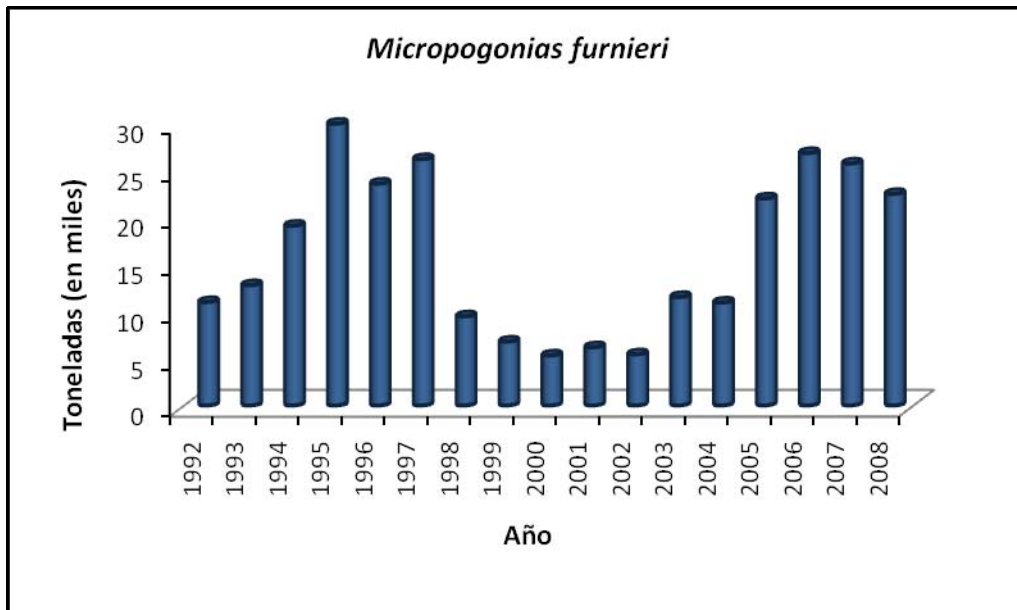


Figura 7. Capturas totales de corvina rubia en las últimas dos décadas.

- Merluza de cola (*Macruronus magellanicus*)

Las capturas de la merluza de cola aumentaron en más del 87,5 %, desde 1992 a la actualidad. Hasta el año 1997 el aumento de las capturas fue gradual, pero a partir de 1998 se triplicaron. Respecto a los valores máximos hallados, las capturas fueron un 35 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas (Figura 8).

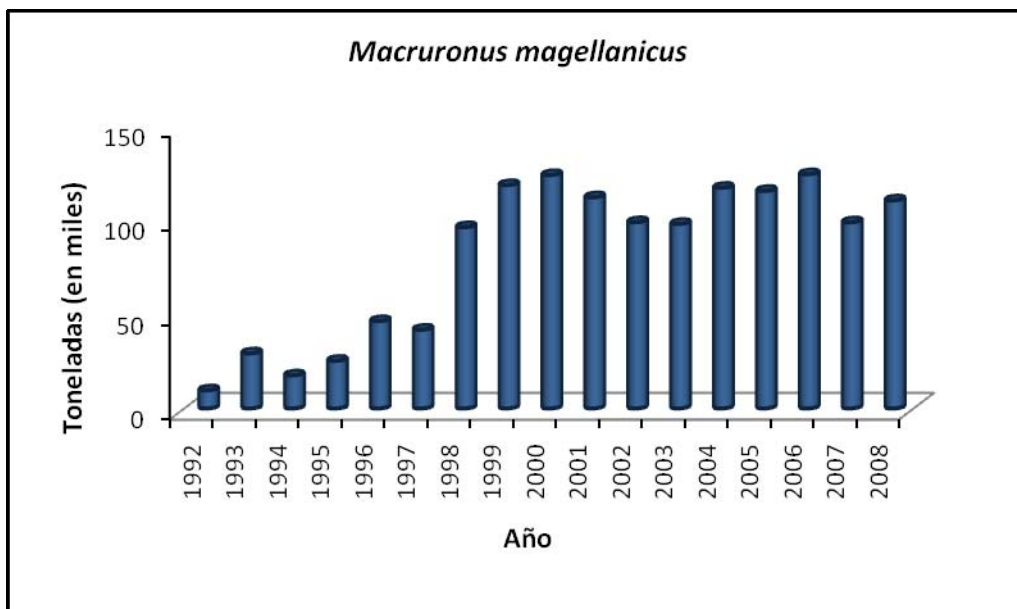


Figura 8. Capturas totales de merluza de cola en las últimas dos décadas.

- Merluza común (*Merluccius hubbsi*)

Las capturas totales para esta especie presentaron dos pulsos (Figura 9). El primero abarca desde el año 1992 al 2000, siendo la captura en este período aproximadamente un 29,8 % mayor que en la segunda etapa. Desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de la merluza común decrecieron en un 46,8 %.

Se obtuvo un máximo en el año 1996 con 604208,7 t y un mínimo en 2000 con 193700,7 t. En particular, en 1996 las capturas fueron un 36,6 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas.

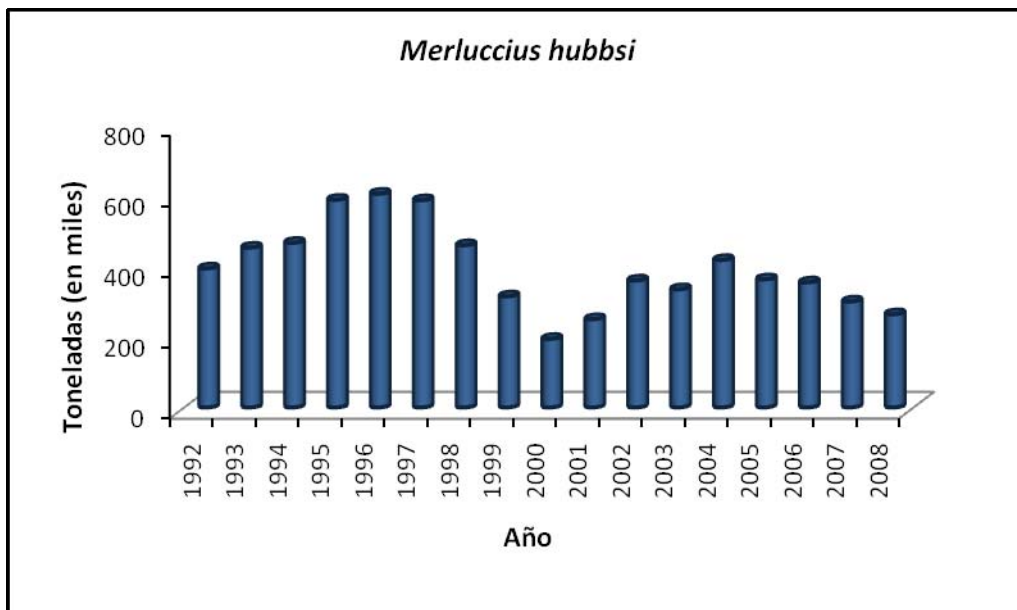


Figura 9. Capturas totales de merluza común en las últimas dos décadas.

- Pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*)

Del análisis de los datos surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de la pescadilla aumentaron en un 4 %, aunque se observa variabilidad en el total de capturas (en t) por año, a lo largo del periodo analizado.

Se obtuvo un máximo en el año 1997 con 24132,9 t y un mínimo en 1993 con 6406,5 t. Respecto al valor máximo, las capturas fueron un 43,6 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas (Figura 10).

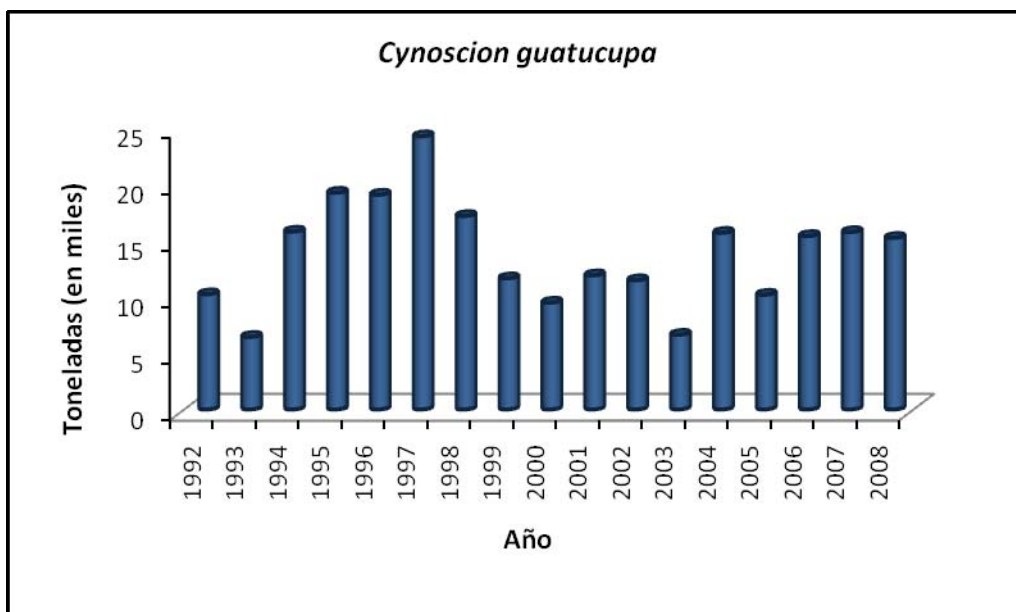


Figura 10. Capturas totales de pescadilla en las últimas dos décadas.

- Pez palo (*Percophis brasiliensis*)

El análisis de las capturas totales de esta especie presentó dos pulsos. El primero abarca desde el año 1992 al 2002, siendo la captura en este periodo aproximadamente 7 % mayor que en la segunda etapa. De este análisis surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales del pez palo aumentaron en un 17 %.

Se obtuvo un máximo en 1997 con 11475,4 t y un mínimo en 1992 con 3838,1 t. En particular, en 1997 las capturas fueron un 36 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie estudiada para las dos décadas (Figura 11).

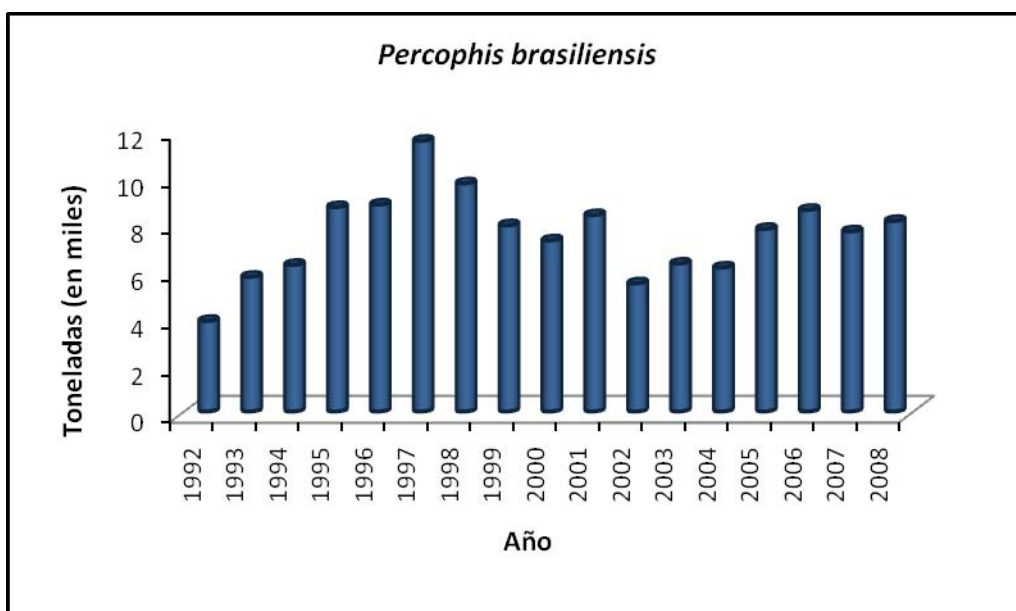


Figura 11. Capturas totales de pez palo en las últimas dos décadas.

- Polaca (*Micromesistius australis*)

Del análisis de los datos surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de esta especie disminuyeron en más del 84,4 %.

Se obtuvo un máximo en el año 1993 con 128525,1 t y un mínimo en 2007 con 18982,2 t. Respecto al valor máximo hallado, las capturas fueron un 53,4 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas. Entre 1993 y 2007 se observó una disminución gradual en la captura de la polaca (Figura 12).

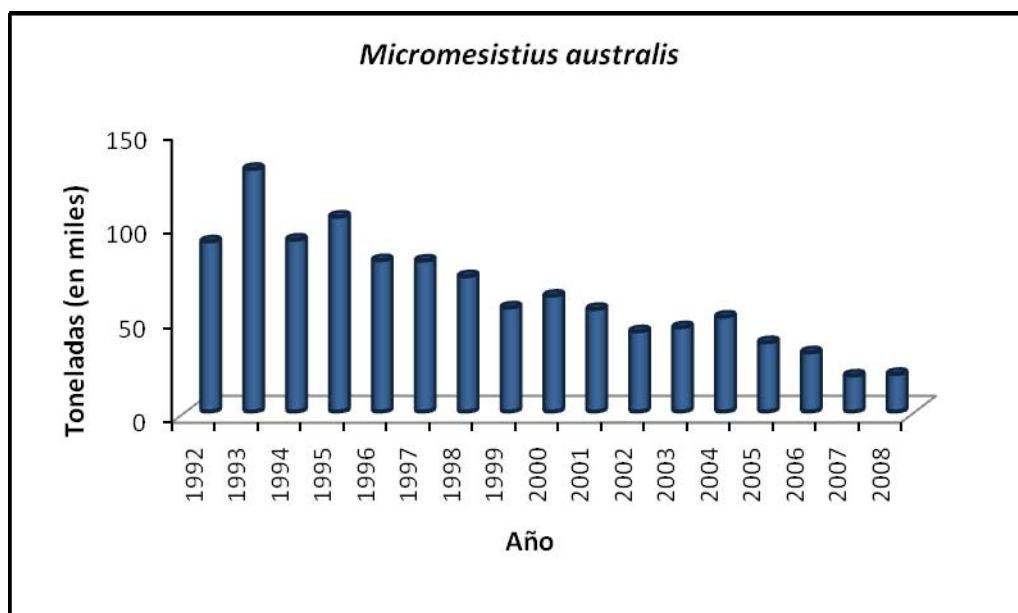


Figura 12. Capturas totales de polaca en las últimas dos décadas.

- Especies capturadas totales a lo largo de dos décadas

Del total de las capturas registradas para las últimas dos décadas se puede inferir que la especie más explotada, dentro de las especies analizadas fue la merluza común con el 63%. En segundo lugar y con un porcentaje mucho menor se encontraron la merluza de cola (13%) y la polaca (10%). Las capturas restantes (14%) correspondieron a pez palo, pescadilla, anchoíta, caballa, abadejo y corvina rubia en porcentajes similares (Figura 13)

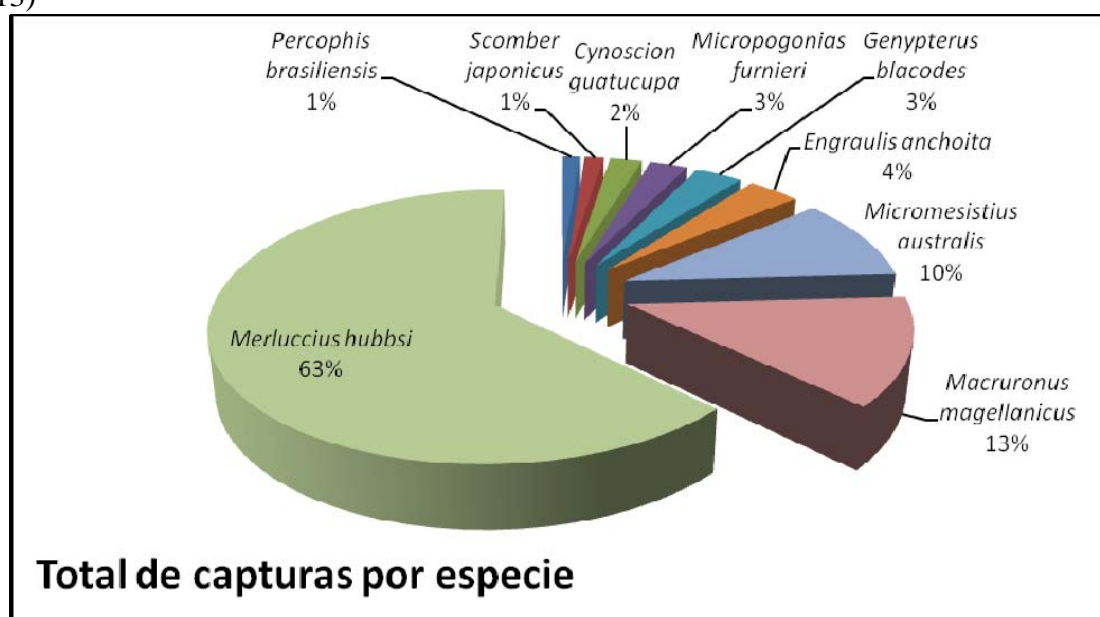


Figura 13: Porcentajes de capturas totales de las especies estudiadas en las últimas dos décadas.

Especies analizadas: *Merluccius hubbsi* (merluza común), *Macruronus magellanicus* (merluza de cola), *Micromesistius australis* (polaca), *Engraulis anchoita* (anchoíta), *Genypterus blacodes* (abadejo), *Micropogonias furnieri* (corvina rubia), *Cynoscion guatucupa* (pescadilla de red), *Scomber japonicus* (caballa) y *Percophis brasiliensis* (pez palo).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de los diferentes tipos y artes de pesca estudiados desde 1992 a 2008 mostró que las especies comerciales explotadas más importantes son especies demersales: la merluza común (*Merluccius hubbsi*), la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) y la polaca (*Micromesistius australis*). La captura de estas especies de gádidos ha aumentado significativamente debido, probablemente, a la expansión de la flota merluquera congeladora entre los años 1992 y 1996 (Aubone *et al.*, 2004). Otros factores que han propiciado el incremento de las capturas costeras y de altura en el periodo 1992-2000, fueron la incorporación de buques congeladores medianos a la flota industrial (tangones, palangreros, poteros), la incorporación de congeladores con procesos definidos (elaboración de surimi), la renovación de la flota de buques fresqueros y costeros, las nuevas normativas y reglamentaciones pesqueras y la apertura de nuevos mercados como la Unión Europea y Asia (Carozza *et al.*, 2004).

En el período 2000-2001, la crisis económica afectó al sector pesquero semiparalizándolo y disminuyendo de manera considerable las capturas y la flota; la recuperación del mismo fue de manera paulatina. A pesar de esto, a partir del año 2005 se manifestó una recuperación del sector reflejada en el aumento de las capturas con valores aproximados a los de 1998.

Como consecuencia de un cambio en la especie objetivo, por parte de un sector de la flota que tradicionalmente faenaba merluza común (*Merluccius hubbsi*), a partir de la década del '90 aumentaron las capturas de la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), por parte de los barcos con bandera argentina. Asimismo, en 1995 se comenzó a observar un incremento en las capturas, pudiendo esto estar asociado a altos niveles de reclutamiento y a que la merluza de cola es fauna acompañante de la merluza común (Bezzi *et al.*, 2004). Los desembarques de merluza efectuados por todos los países que operaron sobre el recurso, se incrementaron 49% durante el periodo 1987-1997. En el año 1998 el desembarque total argentino disminuyó en 21 % debido a las paradas biológicas y a la veda para protección de juveniles en el área de crianza patagónica. La diferencia hallada entre las dos décadas se explica porque en la primera (1992-2000) el aumento en las descargas se mantuvo debido a las altas concentraciones de merluza halladas en el sur a lo largo del año y por el desarrollo de una pesquería diferencial en el sector patagónico (Bezzi *et al.*, 2004), mientras que en la segunda etapa de estudio la merluza presentó una disminución en toneladas de captura, pudiendo deberse esto a que, desde fines de la década del 90, el esfuerzo estuvo dirigido principalmente a los juveniles y con un notorio predominio de hembras. Los porcentajes de juveniles en las capturas ascendió al 70% y la tasa de mortalidad fue de 1,2 a diferencia de la década anterior que presentó valores de captura de 34% y una tasa de mortalidad entre 0,7 y 0,9 (Bezzi *et al.*, 2004). A partir de la segunda etapa, la captura en número superó ampliamente la captura en peso como consecuencia de la disminución de los porcentajes de individuos mayores de 6 años. La pesca de la merluza al norte del paralelo 41°S (flota fresquera) fue menor que la operada al sur del mismo por la flota de buques congeladores. Este hecho marcó una explotación diferencial entre ambas áreas a partir de 1995, debido a una fuerte expansión de la pesca por buques congeladores y factoría, conjuntamente con el desarrollo de los puertos patagónicos (Renzi *et al.*, 1995).

En el año 1997 se produjo la separación de áreas de operación entre los fresqueros y congeladores, dirigiéndose los últimos a mayores profundidades. En los últimos años la flota fresquera argentina operó principalmente en la plataforma patagónica; el 75% de la captura provino de ese sector (Bezzi *et al.*, 2004). Aubone *et al.*, (2004) concluyeron que los efectivos pesqueros norte y sur presentaban síntomas de excesiva explotación.

Con respecto a la polaca (*Micromesistius australis*), se observó un pico de captura en el año 1993 seguido de una disminución gradual. Esta disminución pudo deberse a que en ese año se realizó el manejo del recurso por parte de la administración pesquera argentina estableciendo para esta especie una cuota anual global de captura máxima, que surgió a partir de las recomendaciones del INIDEP basadas en la abundancia y potencial pesquero del efectivo. En los últimos estudios realizados se ha estimado que la fracción de reproductores de la población habría descendido hasta niveles próximos al límite mundialmente reconocido como sustentable en el manejo de las pesquerías (FAO, 1995, Wöhler y Hansen, 2004).

Para el caso del abadejo (*Genypterus blacodes*), el patrón de captura fue semejante al de la merluza común. Esto pudo deberse a que gran parte de los ejemplares capturados forman parte de la fauna acompañante de la merluza (aproximadamente el 50%). Por esto es muy difícil regular su captura ya que sólo el 50% restante sería pesca dirigida a este recurso. En particular en 2003 se observó una disminución en la captura, la más baja desde 1985, que podría explicarse en parte por la derivación del esfuerzo pesquero a la pesquería del langostino patagónico (Cordo, 2004).

El pez palo presenta el mismo patrón de captura que la merluza común. Esto podría deberse a que es una especie acompañante en la pesca de la merluza común.

Las especies demersales tienen mayor tradición en el consumo y exportación en Argentina que las pelágicas (anchoíta y caballa) y son las que presentan recursos disponibles para investigación. En contraposición, se carece de información sistemática de la biología de las especies pelágicas, desconociéndose su verdadero potencial (Hansen, 2004).

La anchoíta es una especie altamente fluctuante dado que presenta un ciclo vital relativamente corto, crecimiento individual rápido y su abundancia depende de forma marcada del éxito de los reclutamientos (Hansen, 2004).

Entre las especies pelágicas, a partir de 1992 se registró un aumento en la captura de la caballa, el cual superó al doble del promedio del registrado para la década del 80. Este hecho pudo deberse a que la pesca dirigida a esta especie fue realizada por barcos de mayor tamaño que los de la flota tradicional (rada o ría) (Perrota, 2004). Las variaciones observadas en el total de capturas (en t) por año, a lo largo del período analizado fueron producidas principalmente por cambios en la accesibilidad del recurso. Dado que cuando el mercado requiere pocos volúmenes de captura se produce una disminución del esfuerzo y del área de acción de la flota, se convierte en un regulador importante de la magnitud de los desembarques de la especie (Perrota, 2004).

Con respecto a las especies costeras, la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) mostró un notable incremento de su captura entre los años 1992 y 1997, lo que puede atribuirse a que la flota costera se instaló en Bahía Samborombón (Buenos Aires), en donde la especie suele concentrarse durante la temporada invernal (Lasta *et al.*, 2000). Este cambio pudo ser a causa de la apertura del mercado asiático para la especie (Carozza y Hernández, 2004). En consecuencia aumentaron abruptamente las capturas, registrándose en 1995 los máximos en la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya (ZCPAU), en el Río de la Plata y en El Rincón. En el año 1998, disminuyeron las capturas debido a las medidas de regulación impuestas, manteniéndose constantes

aproximadamente hasta 2002. En el 2003 volvieron a incrementarse las capturas desembarcadas de esta especie y el número de barcos (Carozza y Hernández, 2004).

Los desembarques argentinos de la pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*) presentaron fluctuaciones. Estas pueden deberse a cambios en la accesibilidad al recurso por parte de las diferentes flotas (Haimovici, 1997) y también al oportunismo económico de la flota costera. En nuestro país, en el año 1997 se alcanzó un máximo en los desembarques y a partir de este año, comenzó a descender hasta el año 2003. Los desembarques provienen en forma mayoritaria de las dos grandes áreas de pesca ya mencionadas, la ZCPAU y El Rincón (Ruarte y Aubone, 2004).

La explotación de los recursos pesqueros argentinos se ha incrementado en las últimas dos décadas. Además este ambiente ha sufrido cambios ambientales (aumento de temperatura, cambios en la productividad fitoplanctónica y en la calidad del agua costera, pauperización de la oferta alimenticia para las especies costeras, variaciones dependientes de los fenómenos de El Niño y La Niña). Estos factores podrían aumentar la vulnerabilidad de las principales especies comerciales, especialmente las especies costeras. Por lo que sería fundamental monitorear exhaustivamente los stocks pesqueros de las especies comerciales y su relación con los factores ambientales. Esto permitirá realizar un manejo sustentable de las pesquerías en las nuevas condiciones ambientales, incorporando herramientas que mejoren: el conocimiento del recurso (identificación de stocks pesqueros, evaluaciones de biomasa precisas), la captura (aumento de la selectividad de artes de pesca, la disminución del descarte, diversificación de las pesquerías) y el producto (incorporación de valor agregado, nuevos mercados), entre otros. Estas medidas sólo pueden llevarse a cabo si están enmarcadas en una estrategia pesquera a mediano y largo plazo que incluya la participación de todos los sectores involucrados.

## BIBLIOGRAFÍA

- AUBONE, A.; BEZZI, S.I.; CAÑETE, G.; CASTRUCCI, R.; DATO, C.; IRUSTA, G.; MADIROLAS, A.; PÉREZ, M.; RENZI, M.; SANTOS, B.; SIMONAZZI, M. y VILLARINO, M.F. 2004. [Evaluación y sugerencias de manejo del recurso merluza (*Merluccius hubbsi*). La situación hasta 1999. 207-235 pp En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- BENSCH, A; GIANNI, M.; GRÉBOVAL, D.; SANDERS, J.S. and HJORT, A. 2008. Worldwide review of bottom fisheries in the high seas. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper: 522. FAO, Rome.
- BEZZI, S.I.; RENZI, M.; IRUSTA, G.; SANTOS, B.; TRINGALI, L.; EHRLICH, M.; SÁNCHEZ, F.; GARCÍA DE LA ROSA, S.; SIMONAZZI, M. y CASTRUCCI, R. 2004. Caracterización biológica y pesquera de la merluza (*Merluccius hubbsi*) pp 157-206 en: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- CAROZZA, C.; HERNANDEZ, D.R. y PERROTA, R.G. 2004. Evaluación de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en el área del Río de la Plata y Zona Común de Pesca argentino-uruguaya por medio de un modelo de dinámica de biomasa. Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero, 16: 77-90.
- CORDO, H.D. 2004. Abadejo (*Genypterus blacodes*). Caracterización biológica y estado del recurso pp: 237-254. En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y

- evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- COUSSEAU, M.B.; GOSZTONYI, A.E.; ELIAS, I. y RE. M.E., 2004. Estado Actual del conocimiento de los peces de la plataforma continental argentina y adyacencias. pp 17-38. En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- CHEUNG, W.W.L.; LAM, V.W.Y.; SARMIENTO, J.L.; KEARNEY, K.; WATSON, R.; ZELLER, D. and PAUL, D. 2009. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*. DOI 10.1111/j.1365-2486.2009.01995.
- FAO., 1995. Review of the state of the world fishery resources: marine fisheries. Circular FAO Fisheries, 884: 105pp.
- HAIMOVICI, M. 1997. Recursos pesqueiros demersais da regio sul. Fundação de estudos do Mar, Río de Janeiro, 80 pp.
- HANSEN, J. 2004. Anchoíta (*Engraulis anchoíta*). pp 101-115. En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- LASTA, C.; CAROZZA, C.; SUQUELLE, P.; BREMEC, C.; ERRASTI, E.; PERROTTA, R.; BERTELO, C. y BOCANFUSSO, J. 2000. Característica y dinámica de la explotación de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) durante la zafra invernal. Años 1995 y 1997. INIDEP Inf. Téc.:36, 141pp.
- PERROTTA, R. 2004. Caballa (*Scomber japonicus*). pp 117-126. En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- RENZI, M.; PÉREZ, M. y S. BEZZI., 1995. Resultados del análisis de poblaciones virtuales y proyecciones de captura para 1996 correspondientes a las poblaciones de merluza. Inf. Téc. Int. DNI-INIDEP: 20/95, 10 pp.
- RUARTE, C. y AUBONE, A., 2004. La pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*), análisis de su explotación y sugerencias de manejo para el año 2004. Inf. Téc. Int. DNI-INIDEP: 54/2004, 16 pp.
- SCARTASCINI, F.L.; CHARO, M. y VOLPEDO, A.V. 2008. Caracterización de las estrategias de obtención de recursos ícticos a partir del análisis de otolitos. El caso de la costa norte del Golfo San Matías (Río Negro). VII Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Ushuaia.
- WÖHLER, O. y HANSEN, J. 2004. Estandarización de las series de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de polaca (*Micromesistius australis*) de los buques surimeros argentinos en el periodo 1992-2003. Inf. Téc. Int. DNI-INIDEP: 31/05, 11 pp.





# MODELACIÓN ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DE LA EXTRACCIÓN PESQUERA DE CONSUMO EN LOS LAGOS AMAZÓNICOS CENTRALES: ADAPTACIÓN INDÍGENA LOCAL

*Ecological and economic modeling of fishing extraction of consumption in central amazonian lakes: adaptation indigenous local*

**Camilo Torres-Sanabria**

Laboratorio de Limnología. Facultad de Ciencias Económico-Administrativas.  
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.  
camilo.torres@utadeo.edu.co

## RESUMEN

Los lagos de inundación de la cuenca media del río Amazonas en las inmediaciones de la ciudad de Leticia, Colombia, son conocidos como los lagos de Yahuaraca. Estos humedales generan beneficios económicos a las comunidades indígenas que se ubican en las proximidades de los mismos. Dichas comunidades practican diversas técnicas de extracción pesquera de varias especies, tanto para su consumo como para el intercambio de bienes y servicios en el puerto de Leticia. Las artes de pesca de arrastre generan el mayor nivel de beneficios económicos que las artes de gramaloteo, ya que esta última técnica permite capturar peces de tallas pequeñas las cuales son comercializadas a un menor precio. Además, los beneficios generados por la técnica del gramaloteo están restringidos por los altos costos en las jornadas de extracción. Las pesquerías analizadas en el presente trabajo son las de las siguientes especies: *Hypophthalmus edentatus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Prochilodus nigricans* y *Mylossoma aureum*, las cuales se comercializan ampliamente y su extracción modifica la estructura trófica del ecosistema acuático, cambiando la composición de la biomasa, la producción y la respiración de los componentes tróficos. Por medio de la Matriz de Leontief se identificaron los impactos generados en los componentes tróficos del sistema al considerar un aumento porcentual en las unidades de extracción de las artes de pesca, la cual es determinada por el costo marginal de extracción de cada arte.

**Palabras clave:** Niveles tróficos, Lagos de Yahuaraca, Biomasa, Ecopath, Matriz Leontief, Función de Beneficios.

## SUMMARY

The flood lakes in the half basin of the Amazon River named Yahuaraca lakes for the Leticia citizens – Colombia, generate economic profits to the indigenous communities that are located near to this water complex. These human communities develop some fishing techniques for extract a diverse fish species, for self-consumption and for the exchange of some goods and services in the Leticia port. Drag techniques generate a higher level of economic benefits than the Gramaloteo arts; because the last one catches small size of fishes which are sold at lower price, further this benefits generated by the Gramaloteo technique are restricted by the high costs in the extraction season. The fish species studied in this paper (*Hypophthalmus edentatus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Prochilodus nigricans* y *Mylossoma aureum*) are relevant for the local market and consumption. When these species are caught, the trophic structure is modified for the aquatic ecosystem, and changes the biomass composition, the production and the respiration of each trophic component. The Leontief matrix was identified impacts

generated in the trophic components of the system, to consider a percentage increase in the extraction units for each fishing art. The marginal cost its relevant when the economic agent choose the catching art.

**Keyword:** Trophic levels, Yahuaracaca Lakes, Biomass, Ecopath, Leontief Matrix, Profits Function.

## INTRODUCCIÓN

Los niveles de organización de los lagos de inundación tropical amazónicos son dinámicos y complejos de estructurar en los diferentes componentes ecológicos que constituyen estos ecosistemas (Junk, 1997), donde el concepto de ecosistema en este caso, considera aspectos referentes a la población, la comunidad, el flujo de componentes, la transformación de la energía, la dinámica de los ciclos, la depredación, el consumo, la respiración, la eficiencia, entre otros parámetros (Cherret, 1989).

Los niveles tróficos en este tipo de ecosistemas se caracterizan por presentar distintos componentes jerárquicos, donde los peces consumidores se posicionan en los más altos niveles de la cadena trófica a lo largo de los cuerpos de agua que componen el complejo amazónico (Batista et al, 1998). Este componente trófico representado en las poblaciones de peces tiene relevancia en el aporte de proteínas a la dieta de las poblaciones humanas y genera participación en las economías locales que dependen de la dinámica hidrológica de los lagos inundables, como es el caso de Yahuaracaca (Lagos ubicados en las cercanías de la ciudad de Leticia, capital del departamento colombiano del Amazonas).

En el presente documento se aproxima a la composición trófica, mediante diversas implicaciones económicas y ecológicas, de cuatro especies de peces que tienen un mercado local definido en el puerto de Leticia (*Hypophthalmus edentatus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Prochilodus nigricans* y *Mylossoma aureum*), mediante la modelación de los flujos tróficos con el software Ecopath, considerando los impactos en la biomasa resultado de las interacciones tróficas, por medio de la matriz de impacto de Leontief en dos escenarios hipotéticos de extracción del recurso pesquero (Gramaloteo<sup>5</sup> y Arrastre) y un escenario donde no se registra la actividad pesquera. De igual forma se proponen herramientas económicas mediante la formulación de la función de beneficios y la maximización de la misma, considerando la actividad pesquera local a pequeña escala de las especies de peces analizadas.

## MODELOS PROPUESTOS

La estructura trófica propuesta se desarrolla bajo los componentes propios de este tipo de ecosistemas, y se expresa por medio del análisis de cuatro especies de peces (*H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*) registradas en los lagos de

---

<sup>5</sup> El gramaloteo es un arte de pesca que se desarrolla en las orillas de los lagos, particularmente en sitios donde se puede parar el pescador, para lo cual pasan por debajo de los pastos flotantes o gramalotes una red de 15 o más metros de largo, y aproximadamente 10 metros de alto. Una vez envuelto el gramalote en la red, cortan la base de los pastos y los arrastran hasta un sitio seco en la orilla. Este arte de pesca captura muchas especies de consumo de tallas pequeñas que se desarrollan en este hábitat. El gramalote lo componen pastos y vegetación flotante con el predominio total del género *Paspalum* de tallos gruesos enraizados a la orilla del lago, conjuntamente con parches insertos de *Polygonium* y *Oriza*, y en menor medida plantas flotantes de los géneros *Pistia*, *Eichornia*, y helechos del género *Ceratopteris*. Las artes de Arrastre son todas aquellas actividades que contemplan la instalación de una red por un período de tiempo en sitios estratégicos de circulación de peces, la cual es manejada a consideración temporal del pescador.

Yahuaraca, las cuales tienen participación y relevancia en los mercados locales. Esta composición trófica propuesta se desarrolla mediante la herramienta computacional del software Ecopath bajo el siguiente planteamiento teórico, buscando las condiciones de equilibrio del sistema descritas inicialmente por Christensen y Pauly (1992):

$$B_i \cdot PB_i \cdot EE_i - \sum_j (B_j \cdot QB_j \cdot DC_{ji}) - EX_i = 0$$

Donde:  $B_i$ : Biomasa de la presa  $i$ .

$PB_i$ : Producción / Biomasa de  $i$ .

$EE_i$ : Eficiencia ecotrófica de  $i$ .

$B_j$ : Biomasa del depredador  $j$ .

$QB_j$ : Consumo / biomasa del depredador  $j$ .

$DC_{ji}$ : Fracción de la presa  $i$  consumida por el depredador  $j$ .

$EX_i$ : Exportación de biomasa de  $i$  por fuera del sistema.

Así, para un sistema con  $n$  grupos o componentes tróficos, el sistema requerirá  $n$  ecuaciones lineales que son resueltas usando el método generalizado de inversas (Mackay, 1977).

La elaboración del modelo no requiere la incorporación de todos los parámetros de entrada de algunos de los grupos o componentes tróficos, ya que Ecopath relaciona la producción de un grupo con los demás que estén enlazados de manera trófica, donde esos lazos pueden estimar los parámetros que faltan de los demás grupos relacionados. Esto se basa en el supuesto que la producción de un grupo finaliza en algún lugar del sistema.

La matriz de Leontief es un método desarrollado para medir las interacciones directas o indirectas en la transferencia de biomasa de un componente trófico a otro en unidades porcentuales, donde es posible incorporar las actividades pesqueras dentro del análisis como un componente más del sistema y el efecto de éstas en los demás componentes tróficos. Este análisis del Impacto Trófico Mixto (MIT) se construye mediante una matriz de dimensiones  $n$  por  $n$ , donde  $i$  y  $j$  representan los elementos que interactúan entre el grupo impactante  $i$  y el grupo impactado  $j$ . Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$MIT_{ij} = DC_{ij} - FC_{ij}$$

Donde  $DC_{ij}$  es la composición de la dieta expresada en términos porcentuales, considerando cuánto contribuye  $j$  en la dieta de  $i$ . De igual forma,  $FC_{ij}$  es el patrón de composición en términos de la proporción de la depredación sobre  $j$  dado que  $i$  es el predador. Cuando calculamos el patrón de composición de las artes de pesca, éstas son incluidas como predadores. El resultado se expresa en un histograma de columnas las cuales se direccionan hacia arriba de la gráfica para representar un efecto positivo en la biomasa de los grupos impactados por el aumento en una unidad porcentual en la biomasa del componente ubicado en el eje vertical. De igual forma se expresan columnas direccionadas hacia abajo de la gráfica, para representar un efecto negativo en la biomasa de los grupos impactados por el aumento en una unidad porcentual en la biomasa del componente ubicado en el eje vertical.

De igual forma, la propuesta metodológica pretende incorporar elementos de la teoría económica en la estructura trófica que se desarrolla, por medio de dos artes de extracción pesquera, caracterizados en los lagos de inundación tropical amazónicos de Yahuaraca, donde se debe considerar el aporte económico a las poblaciones locales por la extracción de las cuatro especies de peces (*H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*) expresado en una función económica de beneficios (Mankiw, 2003).

La función básica de beneficios ( $Ben$ ) se expresa mediante una expresión matemática que depende de los Ingresos Totales ( $IT$ ) concebidos por las actividades de extracción pesquera y los Costos Totales ( $CT$ ) generados por dichas actividades extractivas. La función se expresa teóricamente de la siguiente forma:

$$f(Ben) = f(IT, CT)$$

Donde la forma funcional propuesta es:

$$Ben = IT - CT$$

$IT = p \cdot Q$ ; sea:  $p$  el precio del kilogramo de la especie de pez comercializado en el mercado local y  $Q$  las cantidades en kilogramos comercializadas en cada faena de extracción.

$CT = CF + CV$ ; sea:  $CF$  los costos fijos generados por las actividades de extracción que no dependen de las cantidades extraídas ( $Q$ ) y se incurren una sola vez al corto plazo y  $CV$  que representan los costos variables o costos que dependen directamente de las cantidades que sean extraídas ( $Q$ ) y que son generadas en cada faena de extracción.

Entonces:  $Ben = (p \cdot Q) - (CF + CV)$ ; donde los beneficios son representados en unidades monetarias establecidas, en un período de tiempo y en cada arte de pesca desarrollada.

De acuerdo al anterior planteamiento económico, se desarrolla el método de Lagrange para la solución de problemas restringidos (Maldonado, 2008), en donde se pretende maximizar una función objetivo, que en este caso es la función de beneficios, con sus respectivas variables de decisión que deben estar en algún conjunto de restricciones, que para el ejercicio actual está la restricción de la función de costos. En otras palabras, maximizar los beneficios bajo la restricción de los costos de producción en las diferentes artes de pesca. El proceso de optimización de los multiplicadores de Lagrange está definido bajo el siguiente planteamiento matemático teórico:

$$Max f(Ben), \text{ sujeto a: } f(CT)$$

Desarrollando el planteamiento del presente análisis tenemos:

$$L = f(Ben) - \lambda[f(CT)]$$

$$L = [(p \cdot Q) - (CF + CV)] - \lambda[CF + CV]$$

Donde  $L$  es el Lagrangiano y  $\lambda$  es el multiplicador de Lagrange. Desarrollando el modelo de optimización propuesto por medio de la identificación de las condiciones de primer orden necesarias para resolver el problema de maximización, tenemos que:

$$\frac{\partial L}{\partial CF} = -1 - \lambda$$

Se encuentra el cambio marginal en los costos de extracción del recurso pesquero, de acuerdo a los dos artes propuestos, a medida que cambia en una unidad el costo que no está relacionada con las unidades extraídas o costo fijo.

$$\frac{\partial L}{\partial CV} = -1 - \lambda$$

Lo anterior muestra el cambio marginal en los costos de extracción del recurso pesquero, de acuerdo a las dos artes propuestas, a medida que cambia en una unidad el costo relacionado con las unidades extraídas o costo variable.

Si se igualan las expresiones:

$$\frac{\partial L}{\partial CF} = -1 - \lambda \text{ con } \frac{\partial L}{\partial CV} = -1 - \lambda,$$

Tenemos que:

$\frac{\partial E}{\partial CF} = \frac{\partial E}{\partial CV}$  ; donde los cambios marginales de los costos que dependen de las cantidades extraídas son iguales a los costos marginales de los costos que no dependen de las unidades que son extraídas mediante las diferentes artes de pesca.

Si los costos marginales de un arte de pesca (por ejemplo el Gramaloteo) sobrepasan los costos marginales de la actividad sustituta (para el ejemplo el Arrastre), el agente económico se decide por optar por la última actividad.

Por otro lado se puede estimar una tercera condición de primer orden mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\partial E}{\partial E} = -(CF + CV)$$

Al desarrollar la anterior expresión se calcula la magnitud en la variación de los costos de extracción de cada arte de pesca, al variar en una unidad el costo de disponer o no, esa unidad extraída. También puede ser interpretada como el precio sombra o como el costo marginal que se asume por no disponer de esa unidad extraída (el análisis inverso es interpretado como el beneficio marginal que se asume por disponer de esa unidad que no se extrajo).

## MÉTODOS

Los registros de la estructura del ecosistema que se usaron para la formulación del modelo propuesto, provienen de trabajos realizados en los lagos de inundación de la cuenca media y alta del río Amazonas, los cuales han sido expuestos en el trabajo de Angelini y Petrere (1996), donde muestran la composición trófica de los lagos de inundación tropical amazónicos. Estos primeros registros se han venido complementado y ajustando en posteriores documentos desarrollados por Angelini, Frabe y da Silva (2006). De acuerdo a las estructuras en la composición de la producción primaria de los lagos amazónicos, se han desarrollado trabajos desde la década de los ochenta con Junk y otros autores (Junk, Bayle y Sparks, 1989; Junk 1997). Los estudios en la composición de plantas macrófitas en los lagos amazónicos es sustentado en el estudio de Junk y Piedade de 1997. La composición en la estructura ecológica del perifíton es consolidada a partir del estudio doctoral de Doyle (1991). De igual forma, es necesario contemplar la acción de la hojarasca del bosque de inundación que se incorpora al cuerpo de agua, haciendo parte de las estructuras tróficas del sistema mediante procesos de descomposición y consumo (Rueda, Wantzen y Beltran, 2006).

Con respecto a la composición trófica de las poblaciones de peces analizados en el presente documento, se obtuvo la información alimentaria, biomasa y mortalidad, en estudios de Cutrim y Batista (2005) para la especie *Hypophtalmus edentatus*; para las poblaciones de *Pseudoplatystoma fasciatum* se retomaron estudios de Angelini y Angostinho (2005), composición de dietas de bagres (Avila, 1999; Fabre et al, 2000) y la estructura de la biomasa de los mismos (Fabre, Donato y Alonso, 2000). Para *Prochilodus nigricans* la información fue obtenida en Isaac y Moura (1998) complementada con el trabajo de Vieira (2003). La información recopilada para la especie *Mylossoma aureum* fue tomada del trabajo de Angelini (2002) complementado con la revisión de Angelini y Angostino (2005), ratificado con el reciente trabajo de Peña, Alonso y Agudelo, realizado para los lagos de Yahuaraca (2009) y comparado con el estudio realizado en Yahuaraca por Peña (2008) para la especie de palometa conocida como *Mylossoma duriventre*. Las descripciones de las especies de peces analizadas en el presente documento, fueron corroboradas por el estudio de Mojica, y los demás autores (2005), Galvis, y los demás autores (2006) y por el estudio del 2009

correspondiente al conocimiento tradicional de las comunidades indígenas locales en el uso y extracción de estas especies del lago Yahuaraca (Duque, 2009).

Los precios de las especies comercializadas en el puerto de Leticia se evidenciaron y registraron en Marzo de 2009 (Torres y Morales, 2009) y se confrontaron con los registros tomados por la Corporación Colombia Internacional (2009) donde también se registran los costos de extracción de algunas de las técnicas o artes de pesca desarrolladas en los lagos de Yahuaraca.

## RESULTADOS

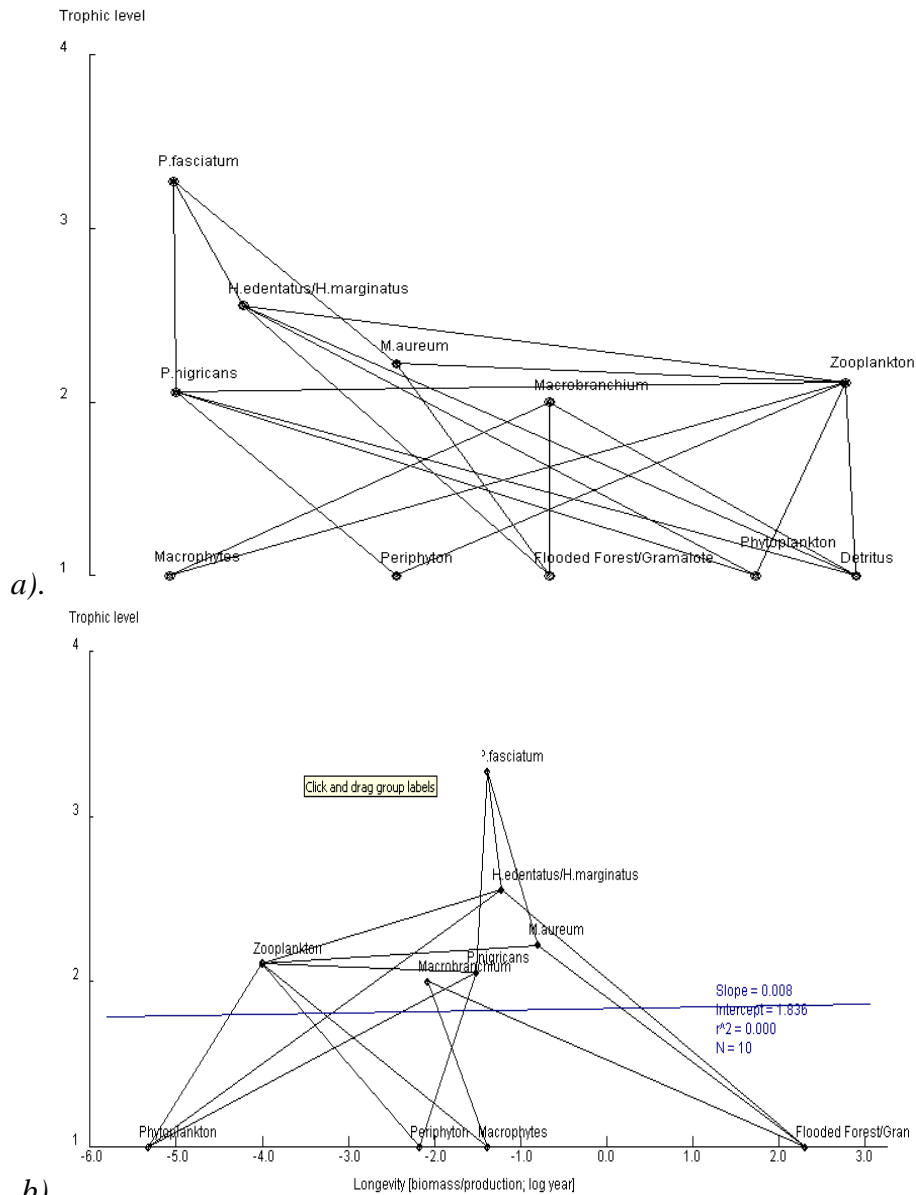
La herramienta analítica expone que las cuatro especies de peces analizadas pertenecen a los niveles tróficos superiores o consumidores, donde la Tabla 1 muestra los parámetros que fueron incorporados al modelo, para así calcular la eficiencia ecotrófica de cada componente en ausencia de actividades extractivas. La mayor biomasa por unidad de área de un componente consumidor, es de la especie de *P. nigricans* la cual consume altas cantidades de pastos aportados por el bosque ripario, alimento disponible en altas cantidades para este pez. El modelo calculado muestra que esta especie registra los valores más altos de producción por unidad de biomasa (Tabla 1).

La eficiencia ecotrófica calculada para la especie *P. fasciatum* es igual a cero, donde el modelo no incorpora datos de depredación natural para esta especie (*P. fasciatum*). De igual forma, el nivel trófico mayor lo presenta esta especie considerando los altos niveles de depredación de otros peces de menor talla. Además es la especie que tiene mayores niveles de consumo por cada unidad de biomasa.

Tabla 1. Estimaciones realizadas por medio del software Ecopath de los componentes tróficos analizados en los lagos de Yahuaraca en un escenario sin pesca de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*.

Grupo	Nivel Trófico	Biomasa (t/km <sup>2</sup> )	Producción/Biomasa (Año)	Consumo/Biomasa (Año)	Eficiencia Ecotrófica	Producción/Consumo
<i>H. edentatus</i> / <i>H. marginatus</i>	2.56	4.123	3.4	7.6	0.488	0.447
<i>P. fasciatum</i>	3.27	1.9	4	12	0	0.333
<i>P. nigricans</i>	2.06	5.125	4.57	10	0.292	0.457
<i>M. aureum</i>	2.22	4.644	2.23	8.3	0.881	0.269
<i>Macrobranchium</i>	2	3.2	8	80	0	0.1
<i>Zooplankton</i>	2.11	24.2	54.7	273.5	0.52	0.2
<i>Macrofitas</i>	1	17.1	4		0.9	
<i>Perifiton</i>	1	38	8.8		0.2	
<i>Foresta</i>						
<i>Inundada</i> / <i>Gramalote</i>	1	39060	0.1		0.02	
<i>Fitoplancton</i>	1	17.1	205		0.4	
<i>Detritus</i>	1				0.512	

Al incorporar al modelo las cantidades que son extraídas por medio de las dos artes de pescas analizadas (Gramaloteo y Arrastre), se evidencia el cambio de los valores en la eficiencia ecotrófica de las cuatro especies de peces donde las artes de pesca reestructuran el flujo de consumo de la red modelada. En la Tabla 2 se puede ver la reasignación de valores y el balance trófico al considerar el efecto de las cantidades extraídas por la pesca, en especial con la especie *P. fasciatum*, la cual no presenta depredadores naturales en sus etapas adultas en los lagos, pero si tiene una demanda alimenticia por las poblaciones humanas.



Fuente: Autor.

Figura 1. Estructura de la red trófica para las cuatro especies de peces analizadas en los lagos de Yahuaraca. a). Niveles tróficos registrados en la aproximación trófica. b). Relación de los niveles tróficos y la relación entre biomasa y producción mediante un análisis de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados ordinarios.

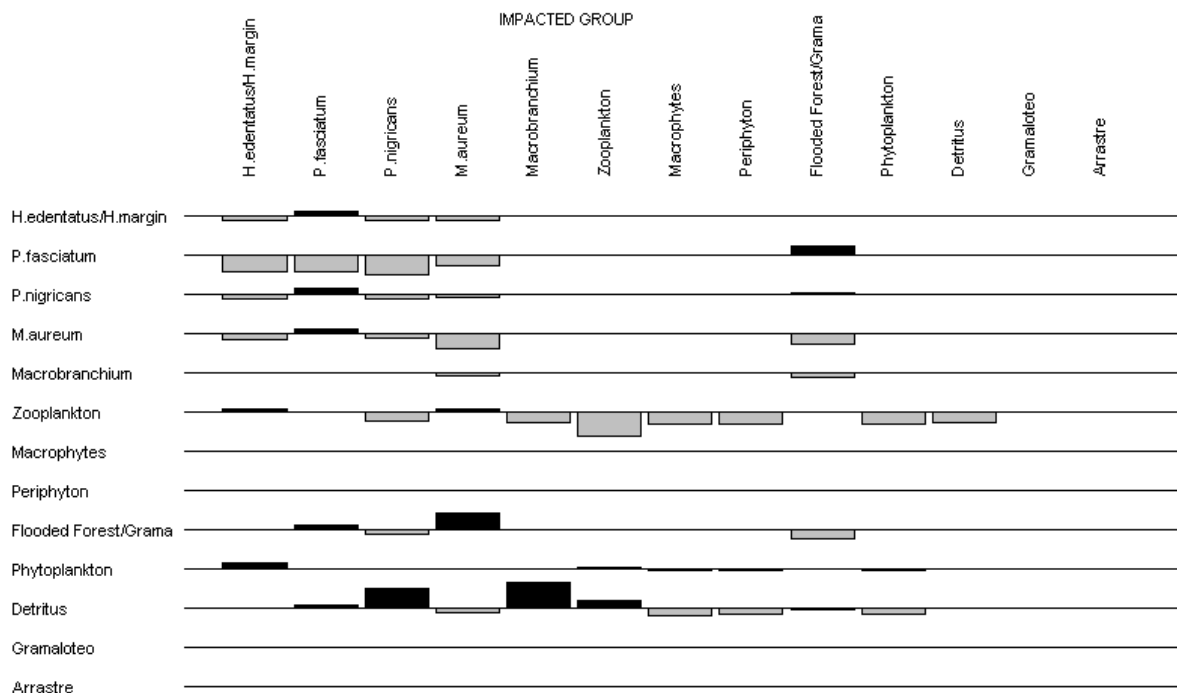


La red trófica se representa en la Figura 1, donde la parte *a*) muestra los conectores tróficos de los diferentes niveles, en los cuales se evidencia que la especie *P. fasciatum* está en el nivel trófico más alto del modelo. En la parte *b*) se muestra que la red trófica y sus conectores no presentan dependencia entre los niveles tróficos y la relación entre la biomasa y la producción (Longevidad), calculado por medio del método estadístico de mínimos cuadrados ordinarios.

De las especies de peces que aportan las mayores cantidades de biomasa al sistema mediante procesos de descomposición, la especie *M. aureum* aporta al sistema 20.5 toneladas de materia orgánica por kilómetro cuadrado en cada año.

La matriz de Leontief es una herramienta que permite conocer los efectos directos e indirectos en la biomasa de los grupos o componentes tróficos a partir de la simulación en un aumento en una unidad porcentual en la biomasa de un único grupo o componente que impacta a los demás (Angelini y Gomes, 2008). Las Figuras 2 y 3 muestran los impactos positivos o negativos de cada grupo resultado del incremento en un uno por ciento de cada componente que impacta a los demás, bajo un escenario sin pesca y otro con pesca, respectivamente.

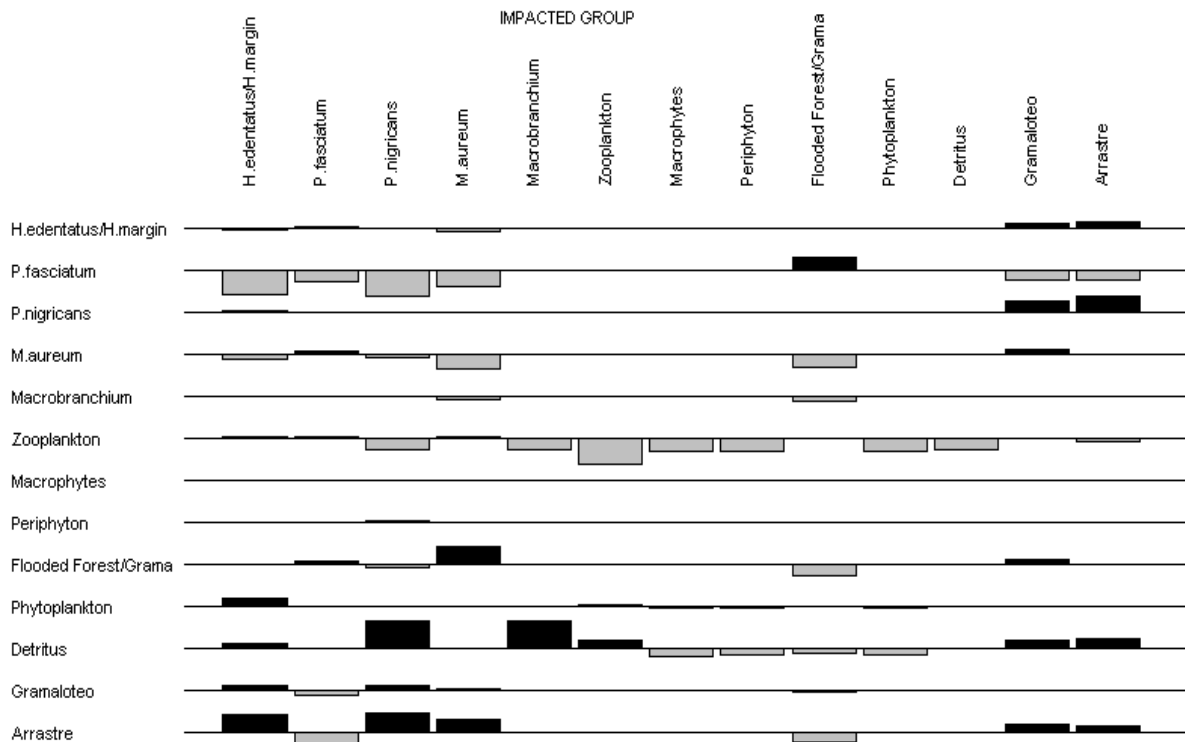
La Figura 2 muestra que en un escenario sin extracción pesquera, la especie *P. fasciatum* tiene un impacto positivo en su biomasa, cuando aumenta en un uno por ciento los niveles de biomasa de la especie *H. edentatus*. La especie de Pintadillo o *P. fasciatum* impacta de manera negativa las demás especies de peces cuando aumenta en una unidad porcentual su biomasa, de acuerdo a su comportamiento trófico de consumidor. El comportamiento trófico de la especie *M. aureum* y su aumento en una unidad porcentual en la biomasa, afecta de manera negativa a las especies *H. edentatus* y *P. nigricans*, y de manera positiva al depredador *P. fasciatum* (Figura 3).



Fuente: Autor.

Figura 2. Matriz de impacto trófico de Leontief bajo la estructura de un escenario sin extracción pesquera de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*.

La siguiente matriz de impacto, considerando el desarrollo de las actividades extractivas de pesca, muestra que el aumento en una unidad porcentual en la biomasa de la especie *P. fasciatum* genera disminución de la biomasa de las especies de peces analizadas. Al considerar en el modelo a las artes de pesca (Gramaloteo y Arrastre) como un componente trófico adicional, se puede decir que al aumentar en una unidad porcentual las unidades de extracción, se impacta de manera negativa a la biomasa de la especie *P. fasciatum*, lo que impactaría causalmente de manera positiva a las demás especies de peces (Figura 3).



Fuente: Autor.

Figura 4. Matriz de impacto trófico de Leontief bajo la estructura de un escenario con extracción pesquera (Gramaloteo y Arrastre) de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*.

La extracción del recurso pesquero en los lagos de Yahuaraca, se realiza por parte de las comunidades indígenas que se localizan junto a este cuerpo de agua. La especie que registra los mayores niveles de extracción es conocida comúnmente como Bocachico (*P. nigricans*), la cual es considerada como una especie de alto consumo y buena comercialización local. El arte de pesca más apropiado para la captura de esta especie son las artes de arrastre (Barthem y Goulding, 2007). De igual forma una de las especies de más alto consumo local es la Palometa o *M. aureum* (Peña, 2008). La CCI (2009) ha registrado estos niveles de extracción de acuerdo a los seguimientos en el puerto de Leticia y en el presente documento se ha generado la diferenciación por arte de pesca expresado en la Tabla 3.

Tabla 3. Cantidades aproximadas en la extracción anual por pescador, de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*, en los lagos de Yahuaraca (Gramaloteo y Arrastre).

Group \ catch (ton/km <sup>2</sup> /year)	Gramaloteo	Arrastre	Total catch
H.edentatus/H.marginatus	0.05	0.15	0.2
P.fasciatum	0.06	0.2	0.26
P.nigricans	0.08	0.3	0.38
M.aureum	0.075	0.09	0.17
Total catch	0.265	0.74	1.005
Trophic level	2.47	2.51	2.5

Fuente: Modificación de los registros del puerto de Leticia (CCI, 2009) mediante narraciones y seguimientos locales.

La maximización de la función de beneficios muestra que el arte pesquero del Arrastre presenta los mayores beneficios, frente al Gramaloteo, considerando las condiciones de restricción en los costos generados. La especie que involucra los mayores beneficios de acuerdo a los costos de extracción es la especie *P. fasciatum* y la especie que involucra los menores beneficios de acuerdo a los costos de extracción es la Palometa o *M. aureum*, en la técnica de arrastre (Tabla 4).

Tabla 4. Maximización económica de los beneficios generados por individuo de acuerdo a la extracción anual de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*, en los lagos de Yahuaraca (Gramaloteo y Arrastre).

Group \ value profits (USD/2009)	Fish Arts		
	Gramaloteo	Arrastre	Catch value
H.edentatus/H.marginatus	148.67	446	594.66
P.fasciatum	252.43	841.58	1094.02
P.nigricans	217.3	814.88	1032.18
M.aureum	148.52	178.22	326.73
Total value	766.91	2280.68	3047.59
Total cost	613.53	1710.51	2324.04
Total profit	153.38	570.17	723.55

Fuente: Cálculos del Autor.

Los beneficios económicos generados por cada individuo a partir de las técnicas de Arrastre, son mayores a los beneficios económicos obtenidos por el Gramaloteo en 417 unidades monetarias para el año 2009 (Tabla 4). Estos cálculos son considerados por individuo o pescador.

## DISCUSIÓN

Las cuatro especies de peces descritas en el modelo trófico (*H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*), hacen parte de los niveles tróficos superiores ya que son

organismos consumidores, en especial la especie *P. fasciatum* o pintadillo, el cual consume peces de menor talla (Mojica, et al, 2005; Duque, 2009).

La especie *P. nigricans* o Bocachico consume altas cantidades de detritus y gramalote aportado a los costados de los lagos (Duque, 2009), lo cual se registra en el presente análisis por medio de los altos niveles de biomasa para esta especie. De igual forma, esta especie es de las más extraídas por las comunidades locales, por la evidente tendencia al autoconsumo. Al ser entrevistados los pescadores de esta especies, ellos exponen que, por razones culturales y propias de su cosmovisión del entorno, la preferencia de consumo es por peces con escamas, dejando para el intercambio comercial a las especies de piel como el Pintadillo o *P. fasciatum*.

Al considerar la eficiencia ecotrófica en un escenario donde no se realizan actividades de pesca, se evidencia que especies como *P. fasciatum* no tienen depredadores naturales, también corroborado por Mojica y los demás, 2005, Galvis y los demás, 2006 y Duque (2009). Al incorporar las artes de Arrastre y Gramaloteo dentro del análisis del modelo trófico, se evidencia una distribución de la eficiencia ecotrófica estimada de las cuatro especies de peces (Tablas 1 y 2).

Los niveles tróficos del modelo propuesto se relacionan entre sí por medio de los flujos de interacción (Angelini y Angostinho, 2005; Angelini, et al, 2006), pero en el modelo propuesto no se encontró relación entre la longevidad (relación biomasa/producción) y los niveles tróficos como lo propone Christensen y Pauly (1992); en otras palabras, no se puede concluir que al tener un mayor nivel trófico se tiene mayor longevidad (Figura 1, b). Se debe considerar de manera paralela, que las especies de peces que aportan las mayores cantidades de materia orgánica al sistema en forma de detritus por procesos metabólicos de alimentación y respiración, son las especies que dependen alimenticiamente en gran parte del aporte de materia orgánica proveniente del bosque ripario. Este caso se evidencia con la especie *M. aureum*, la cual aporta al sistema más de 20 toneladas de materia orgánica por kilómetro cuadrado en un año, y según Mojica (y los demás, 2005), Galvis (y los demás, 2006), Peña (2008) y Duque (2009), se alimenta de frutas y flores provenientes del bosque (Figura 1).

La especie *P. fasciatum* genera un impacto negativo en la biomasa de las demás especies de peces analizadas en el modelo propuesto, cuando aumenta en una unidad porcentual su biomasa. Esto es por el comportamiento alimenticio de consumidor de este pez, el cual consume peces de menores tallas como el Bocachico (*P. nigricans*), la Palometa (*M. aureum*) y el Mapará (*H. edentatus*), sustentado por los estudios de Fabre (y los demás, 2005), Mojica (y los demás, 2005), Angelini (y los demás, 2006), Galvis (y los demás, 2006) y Duque (2009). Por otro lado, se puede evidenciar que al incorporar al modelo las unidades de captura por medio de las artes de pesca de Arrastre y Gramaloteo, la especie que se ve impactada de manera negativa es *P. fasciatum*, lo que provoca de manera causal el aumento de las biomásas de las otras tres especies. El Arrastre es el arte de pesca que más impacta de forma negativamente a *P. fasciatum*, con respecto al Gramaloteo.

Al identificar a *P. nigricans* como una de las especies que tienen mayores niveles de extracción para el autoconsumo y comercialización local, por parte de las poblaciones indígenas, se puede inferir sobre los beneficios económicos que esta actividad genera. Esta especie registra una extracción por individuo o pescador de 80 kilogramos por kilómetro cuadrado en un año, por medio de la técnica del Gramaloteo, y más de 300 kilogramos por kilómetro cuadrado en un año por medio del Arrastre. Lo anterior se evidencia por medio de los seguimientos locales y los registros en el puerto de Leticia realizados por la CCI (2009).

Los beneficios generados en la extracción de las especies de peces analizadas, son mayores cuando se realizan por medio de las artes de Arrastre, debido a los costos de extracción en que se incurre, los cuales son menores que los costos de extracción por jornada de Gramaloteo. De acuerdo a los resultados expuestos en la Tabla 4, se muestra que los beneficios económicos totales por individuo son de 724 unidades monetarias para el 2009, considerando de manera conjunta la extracción pesquera por medio de las técnicas de Gramaloteo y Arrastre. Al evidenciar las faenas de pesca en la zona de estudio, se observa que se requiere de mayor tiempo por jornada en el Gramaloteo, obteniendo peces de menor talla.

### **AGRADECIMIENTOS**

Se reconoce la participación y apoyo de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, representada por la Dirección de Investigaciones, y al Laboratorio de Limnología liderado por Guillermo Rueda. El importante apoyo de la Universidad nacional de Colombia, sede Amazonia, en especial al grupo de investigaciones liderado por Santiago R. Duque. Al instituto amazónico de investigaciones científicas, SINCHI, en especial al grupo de ecosistemas acuáticos liderado por Juan Carlos Alonso. Se agradece a los aportes científicos realizados por Ronaldo Angelini de la Universidad Estadual de Goiás en Brasil. De manera especial se reconoce el apoyo científico y financiero de la Fundación TROPENBOS representada en Colombia por Carlos Rodriguez.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- ALONSO, J.C., NUÑEZ, M., AGUDELO, E., RICAURTE, L.F. y SÁNCHEZ, C.L. 2006. Ecosistemas acuáticos de la amazonia colombiana: Avances y perspectivas. *Revista Colombia Amazónica*, 6(1):10-28.
- AGUDELO, E., ALONSO, J.C., SÁNCHEZ, C.L., NUÑEZ, M. y RICAURTE, L.F. 2006. Amazonia: el fileteo como alternativa para la generación de empleo y renta en la región colombiana. *Infopesca Internacional*, 25(1): 19-27.
- ANGELINI, R. 2002. Avaliacao da capacidade-suporte da represa do Broa para a colocacao de tanques-rede. *Revista Saude e Ambiente*, 3(2): 42-48.
- ANGELINI, R. and ANGOSTINHO, A.A. 2005. Parameter estimates for fishes of the upper Paraná river and Itaipu reservoir (Brazil). *Naga-WorldFish Center Newsletter*, 28(1): 53-57.
- ANGELINI, R., FABRE, N.N. and dA SILVA, U. 2006. Tropic analysis and fishing simulation of the biggest Amazonian catfish. *African journal of Agricultural Research*, 1(5): 151-158.
- ANGELINI, R. y GOMES, L.C. 2008. O artesao de ecossistemas: construindo modelos com dados. Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- ANGELINI, R. and PETRERE, M. 1996. The ecosystem of the Broa Reservoir (Brasil), modeled using the Ecopath II. *Naga – The ICLARM Quartely*, 19(2): 36-41.
- AVILA, M.I. 1999. Aspectos de la biología y ecología de los peces de consume en la región de Araracuara, con énfasis en las familias Pimelodidae, hypophtalmidae, Anostomidae, Serrasalmidae, Chichlidae y Scianidae. Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- BARTHEM, R. y GOULDING, M. 2007. Un ecosistema inesperado: la Amazonia revelada por la pesca. Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA). Lima.

- BATISTA, V.S., INHAMUS, A.J., FREITAS, C.E. and FREIRE, D. 1998. Characterization of the fishery in river communities in the low/high Amazon region. *Fisheries Management and Ecology*, 5(1): 419-435.
- CHRISTENSEN, V. and PAULY, D. 1992. Ecopath II – A software for balancing steady-state ecosystems models and calculating network characteristics. *Ecological modeling*, 61: 169-185.
- CHERRET, J.M. 1989. Ecological concepts. Ed. Blackwell scientific publications, London.
- CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL – CCI. 2009. Servicio de información pesquero y acuícola. Sistema de información de precios agropecuarios. Extraído en Junio de 2009: [http://www.cci.org.co/cci/cci\\_x/scripts/home.php?men=101&con=192&idHm=2&opc=199](http://www.cci.org.co/cci/cci_x/scripts/home.php?men=101&con=192&idHm=2&opc=199)
- CUTRIM, L. y BATISTA, V.S. 2005) Determinacao de idade e crescimento do mapará (*Hypophtalmus edentatus*) na Amazonia Central, *Acta Amazonica*, 35(1): 85-92.
- DOYLE, R.D. 1991. Primary production and nitrogen cycling within the periphyton community associated with emergent aquatic macrophytes in an Amazon floodplain lake. Ph.D. Thesis, University of Maryland at College Park.
- DUQUE, S.R. 2009. Conocimiento local indígena sobre los peces de la Amazonia: Lagos de Yahuaraca. Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia, Editora Guadalupe, Bogotá.
- FABRE, N.N., BARTHEM, R., CARVALHO, A.R. and ANGELINI, R. 2005. Sistema integrado para o manejo dos grandes bagres migradores. Editorial do Ibama, Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis.
- FABRE, N.N., DONATO, J.C. y ALONSO, J.C. 2000. Bagres de la Amazonia colombiana: Un recurso sin fronteras. Serie: Estudios regionales de la Amazonia colombiana. Instituto amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Bogotá, Colombia.
- GALVIS, G., MOJICA, J.I., DUQUE, S.R., CASTELLANOS, C., SÁNCHEZ, D., ARCE, M., GUTIERREZ, L.F. JIMÉNEZ, F., SANTOS, M., VEJARANO, S., ARBELÁEZ, F., PRIETO, E. y LEIVA, M. 2006. Peces del medio Amazonas. Región de Leticia. Serie guías tropicales de campo N° 5. Conservación Internacional. Editorial Panamericana, Formas e Impresos, Bogotá.
- ISAAC, V.J. y MOURA, U.S. 1998. Taxa de consumo alimentar de tres populacoes de peixes do estuario do rio Caete, Braganca, no litoral Norte do Brasil, *Boletim Serie Zoologia*, 14(1): 57-75.
- JUNK, W.J. 1997. The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system, *Ecological studies*, 126 (1): 147-185.
- JUNK, W.J., BAYLE P.B. and SPARKS, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain system. *Fish aquatically sciences*, 106: 113-127.
- JUNK, W.J. and PIEDADE, M.T. 1997. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. *Ecological studies*, 126 (1): 147-185.
- MALDONADO, J.H. 2008. Economía de recursos naturales: aplicaciones de economía computacional en la solución de problemas dinámicos. Universidad de Los Andes, Facultad de Economía, Ediciones Uniandes, Bogotá.
- MACKAY, A.L. 1977. The generalized inverse and inverse structure. *Acta Crystallographica Section A*, 33(1): 212-215.
- MANKIW, G. 2003. Principles of economics. Second edition. Harcourt Brace and Company. New York.

- MOJICA, J.I., GALVIS, G., ARBELAEZ, F., SANTOS, M., VEJARANO, S., PRIETO, E., ARCE, M., SÁNCHEZ, P., CASTELLANOS, C., GUTIERREZ, A., DUQUE S.R., LOVON, J. y GRANADO, C. 2005. Peces de la cuenca del río Amazonas en Colombia: Región de Leticia, *Biota Colombiana*, 6(2): 191-210.
- PEÑA, L.C. 2008. Pesca de la Palometa (*Mylossoma duriventre*) en el sector de frontera Brasil-Colombia-Perú del Río Amazonas: consumo, biología reproductiva y dinámica poblacional. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia, Leticia.
- PEÑA, L.C., ALONSO, J.C. y AGUDELO, E. 2009. Biología reproductiva de la Palometa (*Mylossoma duriventre*, Cuvier 1818) en el sector de frontera Brasil-Colombia-Perú. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia. Leticia, Colombia.
- RUEDA, G., WANTZEN, K.M. and BELTRAN, T.M. 2006. Leaf-litter decomposition in an Amazonian floodplain stream: effects of seasonal hydrological changes. *Journal of North American Benthological Society*, 25(1): 231-247.
- TORRES, C. y MORALES, L.F. 2009. Estructura del mercado pesquero asociado al sistema de lagos de inundación amazónicas: Leticia, Amazonía colombiana. Facultad de Administración de Empresas Agropecuaria, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, *Working-Paper*.
- VIEIRA, E.F. 2003. Estudo da dinamica sazonal e interanual da estrutura populacional e do impacto da exploracao pesqueira dos jaraquis nos subsistemas hidrográficos da Amazonia central. Tese de Doctorado, IMPA, Manaus, Brasil.

# INFLUENCIA DE CAMBIOS BRUSCOS EN EL DÍNAMO SOLAR SOBRE EL SISTEMA CLIMÁTICO TERRESTRE

*Influence of the sudden changes in the solar dynamo  
on the terrestrial climate system*

**Adrian Mario Silva**

Universidad de Buenos Aires, Departamento de Ciencias Exactas UBA - CBC.  
Instituto de Astronomía y Física del Espacio<sup>2</sup>.  
adriansilva@fibertel.com.ar

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la relación entre cambios en el comportamiento magnético del Sol y sus efectos sobre la ionósfera y el clima terrestre. Los datos analizados cubren el período entre fines del siglo XIX y comienzos del siglo XXI (1880 – 2007).

El análisis del índice geomagnético aa y los comienzos súbitos de tormentas geomagnéticas (SSC) mediante ondeletas de Morlet muestran transiciones abruptas. Las áreas de las manchas solares indican cambios similares en la serie. También están presentes en las cascadas de llamaradas energéticas. Estas concordancias revelan la interacción entre el campo magnético toroidal y poloidal solar y su efecto sobre el geomagnetismo. Los cambios abruptos se localizan temporalmente alrededor de 1923 (comienzo de una transición caótica ascendente en el dínamo solar), 1949 (fin de la misma), 1981 (intensa emergencia de flujo magnético) y entre 1992 y 1996 (transición caótica descendente). Estas variaciones excitan una onda de 157 – 160 días que se evidencia en el análisis con ondeletas.

En este trabajo se estudia la relación entre estos eventos y las posibles respuestas del sistema climático atmósfera-océano, a través de las variables El Niño/Oscilación Sur (ENSO) que representa la variabilidad de la temperatura superficial del Océano Pacífico ecuatorial, la Oscilación Decadal Pacífica y la intensidad del flujo de los oestes calculada mediante el índice del Modo Anular del Sur (MAS).

Todos estos modos de oscilación se encuentran relacionados con variables terrestres climáticas tales como las precipitaciones y la temperatura, representadas por la tasa de formación de nubes y la serie de anomalías térmicas globales anuales. En las variables climáticas se identifican cambios de fase sincrónicos con las variables geomagnéticas y solares.

**Palabras clave:** Sol, campo magnético, geomagnetismo, clima terrestre

## ABSTRACT

The aim of this work is to analyze the connection between magnetic sun behaviour changes and their effects on ionosphere and terrestrial climate. The data set under analysis range between the end of 19 century and beginning of 21 (1880 – 2006).

The analysis of geomagnetic index aa by means of Morlet wavelets shown sudden transitions. The same behaviour is founded in the sudden storm commencements (SSC) of geomagnetic storms with a temporal lag of order of one year. The sunspot areas show a similar trend and synchronic clear changes. The energetic flares cascades are too presents in the changes periods. These relations are indicators of the interaction between the sun toroidal and poloidal magnetic field and the geomagnetism. The sudden changes



occurs around the years 1923 (solar dynamo ascending chaotic transition), 1949 (end of this), 1980 (intense magnetic flux emergence), and 1994 – 1998 (dynamo sun descending transition). They excite a 157 - 160 days wave revealed by the wavelet analysis.

In the present work is studied the connection between these phenomenon and the forces that control the ocean – atmosphere system and the corresponding possible responses of the system, through the El Niño South oscillation (ENSO) that represent the Ocean Equatorial Pacific surface temperature variability, the Pacific Decadal Oscillation, and the strengthening of western flux of South Hemisphere calculated by means of SAM index (South Annular Mode).

All these oscillation modes that are related with terrestrial climatic variables as temperature and precipitations, present phase changes synchronic with the geomagnetic and solar variables. Finally, the annual global temperature series show signs of these changes.

**Key words:** Sun, magnetic field, geomagnetism, terrestrial climate

## INTRODUCCIÓN

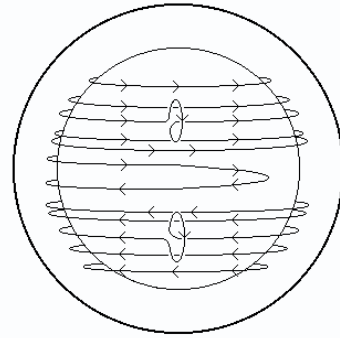
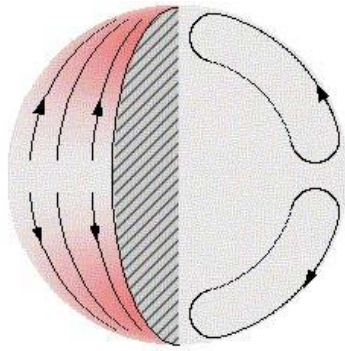
### a) El campo magnético solar

La actividad solar de manchas, explosiones y expulsión de masa, está controlada por el campo magnético del Sol (Figura 1).

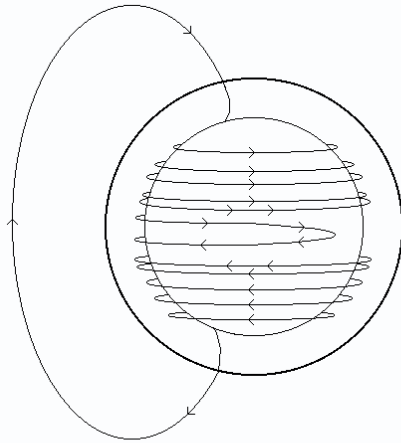


Figura 1: Se observa el colosal efecto del campo magnético solar en esta imagen satelital del SOHO (Solar Heliospheric Observer) tomada en el 2005.

El Sol, genera este campo mediante el efecto dínamo, que a partir de cierto campo semilla extrae energía del movimiento del plasma en la zona de transición del interior solar, y realimenta al campo (Stix, 1990). Para que esto funcione es necesario un campo interno toroidal que crea un campo poloidal, que es el que llega hasta la Tierra. Estos campos se realimentan mutuamente, y es en las eyecciones de campo de magnético donde ocurren las transiciones más drásticas. El dínamo solar requiere de una rotación diferencial del fluido, que se logra por movimientos meridionales desde el ecuador solar a los polos. Este es el “Omega-Effect”. Es necesario también que las líneas de campo puedan agruparse y tener un movimiento inducido por la convección de calor y la rotación general del Sol, condición conocida como “Alfa-Effect” (Stix 1980), como se indica en la Figura 2.



**The  $\alpha$ -effect**



**The  $\omega$ -effect**

Figura 2. Corrientes meridionales en el interior del sol y geometría de las líneas de campo magnético en los efectos  $\alpha$  y  $\omega$ .

El ciclo solar de 11 años, la inversión de la polaridad, la reversión del campo secular, y otros efectos se deben explicar en este marco (Charbonneau, 2005). La emergencia de flujo magnético, principalmente a través de la creación y destrucción de manchas solares y grupos, materializa la eyección de campo toroidal interno (Stix 1990), y es el fenómeno clave para caracterizar las transiciones caóticas y el efecto sobre las variables climáticas terrestres. Existe un indicador medible y cuantificable de la emergencia de flujo: se trata de una oscilación de 154 –160 días que se excita tanto en las transiciones caóticas como en los eventos de emergencia de flujo (Ballester *et al.*, 2002) (Duhau 2003 b). Esta onda fue detectada por primera vez por Rieger *et al.*, (1984), empleando datos del espectrómetro GRS a bordo del Solar Maximum Mission SMM en la ocurrencia de fulguraciones en rayos X duros. La misma también es observada en datos del satélite GOES (Geosynchronous Operational Environmental Satellites) para el ciclo 21 (Bogart y Bai, 1985), así como en las áreas de manchas solares (Lean, 1990), durante los ciclos solares 19 –21, y aún como parte de un posible evento de ascenso caótico en ciclo solar 2 entre 1750 y 1775 (Ballester et al., 1999). Esta onda representa un aspecto global del movimiento del plasma fluido interno del Sol, dado que está presente en subarmónicos durante todos los ciclos desde el 14 al 23, y aún en el radio medio del Sol (Silva, 2005)

La periodicidad cercana a 160 días en las fulguraciones solares en un amplio rango de energías desde los rayos X a las ondas de radio, en las áreas de manchas y en el número de Wolf, es objeto de intensos estudios. Oliver *et al.*, (1998) realizan el primer análisis empleando wavelets, de la tasa de ocurrencia de fulguraciones y de áreas de manchas solares durante los ciclos 16 a 21 y encuentran que la periodicidad aparece en el ciclo 16, es máxima en el ciclo 19 y desaparece completamente después del ciclo 21. El sincronismo de esta aparición esporádica de la periodicidad con un evento de ascenso caótico en la actividad solar y magnética hallado por Duhau (2003b) y Duhau y Chen (2002), indica que, como fue sugerido por Oliver *et al.*, (1998) la periodicidad de 158 días está relacionada con la desestabilización del dínamo debida a la emergencia de nuevo flujo magnético durante los ciclos 16 a 21.

En la actualidad se han descubierto varios eventos de cambios impulsivos en los indicadores de actividad solar, directamente como en los grandes mínimos de Maunder en 1705, la transición caótica ascendente que comenzó en 1923 y la descendente comenzada en 1993 (Duhau, 2003b); o indirectamente por medio de los archivos de abundancias de  $^{10}\text{Be}$  y  $^{14}\text{C}$  en los hielos que son anti correlacionados (Bazilevskaya, 2000) con la energía transportada por los tubos abiertos de flujo magnéticos solares (Zwan, 1985) . De la última manera se encontraron grandes mínimos y máximos hasta el año 800 AC. La escala de tiempo de los mínimos a las transiciones de los mínimos aparece de orden de 200 años (Schüssler & Schmitt 2004).

Hay trabajos abundantes teóricos sobre el dínamo solar, pero la conexión con el fenómeno real es dificultosa ya que los modelos precisan valores de los parámetros que son desconocidos (Schmitt *et al.*, 1996, Charbonneau 2005). En este trabajo se muestran los efectos cuantitativos de las transiciones caóticas la dínamo solar y eventos de emergencia de flujo magnético (EMF). Esta aproximación empírica puede servir para la búsqueda del proxys de los parámetros y para la previsión de eventos futuros.

#### **b) Transiciones caóticas del dínamo solar**

Los modelos teóricos de variabilidad magnética solar son revisados en Schüssler y Schmitt (2004) y Charbonneau (2005). Estas transiciones han sido identificadas y caracterizadas por Carbonell et al., (1994), y Duhau (2002, 2003b)

Un posible escenario para este tipo de proceso es:

- Un acople de dos ondas en fase o anti-fase, como los ciclos de Schwabe y Gleissberg de 22 y 88 años, respectivamente (Duhau 2002)
- Un campo medio por sobre un umbral de campo magnético toroidal (Schmitt et al., 1996)
- Un aumento de campo magnético medio con eyección de energía magnética de la zona convectiva hacia la capa del dínamo (transiciones ascendentes)
- La excitación de ondas Magneto Hidrodinámicas MHD en el dínamo subfotosférico a las zona convectiva (Silva 2008b)
- La eyección de campo del toroidal a la heliosfera y su rápida expansión como campo poloidal (Emergencia de flujo magnético)
- Intensos comienzos de tormenta como respuesta ionosférica, como los observados en el ciclo 22 (Silva 2007, Silva 2008 a)

Mediante las observaciones se encuentra que aparece:

- Brusco crecimiento (entre 6 meses y 2 años) de variables solares / terrestres: áreas de manchas solares, número de manchas solares, campo magnético fotosférico, comienzos bruscos de tormentas geomagnéticas e índices geomagnéticos (aa, ap, kp).
- Cambios bruscos de fase entre número y áreas de manchas e índices geomagnéticos

### c) Variables climáticas

La Pequeña Edad de Hielo (PEH) fue un período frío que abarcó desde mediados del siglo XIV hasta mediados del siglo XIX.

En el período ocurrieron tres pulsos de valores mínimos de temperatura. El primero centrado en 1650, el segundo en 1770 y el tercero hacia 1850. La disminución de la actividad solar, el aumento de la actividad volcánica y el cambio en las concentraciones de Dióxido de Carbono fueron los principales forzantes durante esos períodos.

El índice de Oscilación Sur (SOI) es uno de los parámetros más importantes en la determinación del clima, junto a la Oscilación Decadal Pacífica y el Modo Anular de vientos del Sur (SAM). EL SOI es un índice numérico que se obtiene comparando la presión atmosférica al nivel del mar entre Darwin y Tahiti. Durante el episodio de Niño, el índice se vuelve un número negativo, y se caracteriza calentando el Océano Pacífico central y oriental, perturbando muchos de los sistemas del clima del mundo en el proceso. Durante el episodio de La Niña, se revierte el proceso en las mismas aguas. El ciclo entre estos dos episodios es conocido como el la Oscilación Sur de El Niño, o ENSO.

## MATERIALES Y METODOS

- Área de manchas solares
- Número de Zurich de manchas solares (Rz)
- Índice geomagnético aa
- Índice del comienzo brusco de tormentas geomagnéticas (SSC)
- Temperatura media global (ETA)
- Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)
- Modo Anular del Hemisferio Sur (SAM)

La base de datos de áreas de manchas solares se puede obtener del National Geophysical Data Center of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) en <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/stp.html>.

El índice SSC es definido como la amplitud por la duración. Los datos se obtienen del ISGI en <http://www.cetp.ipsl.fr/isgi/homepage.htm>

Hemos realizado un análisis wavelet multiresuelto empleando la función generadora compleja de Morlet:

$$\Psi_0(\mathbf{t}) = \pi^{-1/4} \mathbf{e}^{i\omega_0 \mathbf{t}} \mathbf{e}^{-\mathbf{t}^2/2} \quad (1)$$

Donde  $t$  es el tiempo y  $\omega_0$  es el parámetro de frecuencia adimensional, tomado = 6. Es conveniente generar las escalas de acuerdo con las potencias crecientes de dos, tal

como se especifica en Torrence y Compo<sup>(9)</sup>

$$\mathbf{S}_J = \mathbf{S}_0 2^{j\delta_j} \quad j=0,1,\dots,J \quad (2)$$

Donde  $S_0$  es la menor escala resoluble, que se ha tomado en este trabajo igual a 2 días. El número de subescalas determina el valor de  $\delta_j$  y fue elegido como se dijo de manera de incluir los períodos relevantes. Sobre las dos bases de datos se calculó el espectro wavelet global de acuerdo con:

$$\bar{W}^2(s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |W_n(s)|^2 \quad (3)$$

La función  $W(s)$  está dada por la convolución de la compleja conjugada de  $\Psi$  con la serie de datos  $X_k$ .

Los espectros obtenidos han sido normalizados con las constantes adecuadas para radio y áreas, y tomando en cuenta el número de días considerados en cada ciclo, de modo de poder comparar los espectros respectivos. El análisis se ha hecho en el entorno del máximo de cada ciclo, tomando tres años.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### I) Áreas de manchas solares

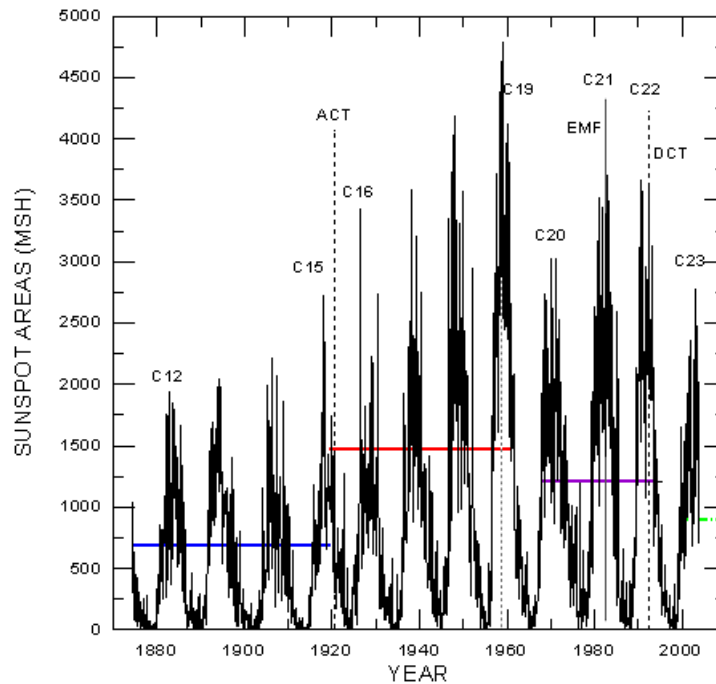


Figura 3. Evolución temporal de áreas de manchas solares. Las áreas están promediadas mensualmente.

En la transición caótica ascendente de 1923 el valor medio se ha incrementado en un factor 2. Las líneas llenas indican los valores medios calculados en la emergencia de flujo EMF que precede a la transición caótica descendente DCT.

Hasta 1923 las medias están en 700 millonésimos del hemisferio solar (MSH), desde allí comienza la transición caótica ascendente ACT caracterizada por:

- 1) Aumento brusco de las variables solares, (el área media sube a 1500, factor >2)
- 2) Excitación de la onda de 160 días asociada a la emergencia de flujo magnético a través de flares, de líneas de campo "congeladas" en el plasma bipolar y del viento solar (Figura 4).

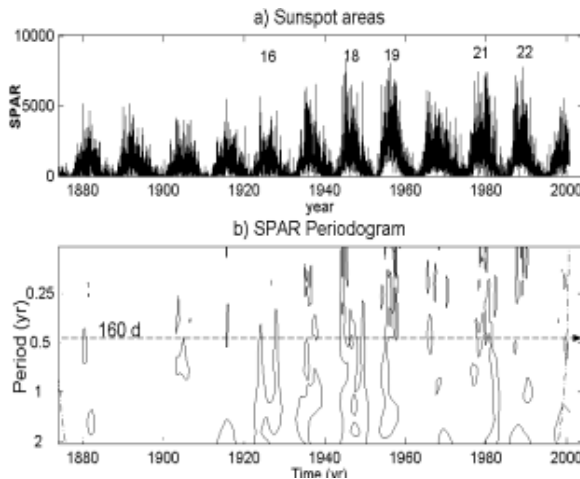


Figura 4. Panel superior: serie temporal de áreas. Panel inferior: Periodograma que indica los periodos de oscilación excitados vs el tiempo en años. Se observa en el periodograma la excitación de la onda de 160 días en la TCA y en

EFM.

- 3) Anulación aparente de una componente oscilatoria del dínamo lenta (Duhau 2003b) de entre 70 y 90 años (ciclo de Gleissberg) que se acopla con el ciclo solar de 22 años.
- 4) Cambios en los niveles de las SSC y de los índices geomagnéticos.
- 5) Cambio en la fase entre Rz y el índice geomagnético aa, tomados como proxys del campo magnético solar toroidal (interno en la zona convectiva a 0.7 Radios solares) y poloidal (que llega hasta la Tierra), Figura 5.

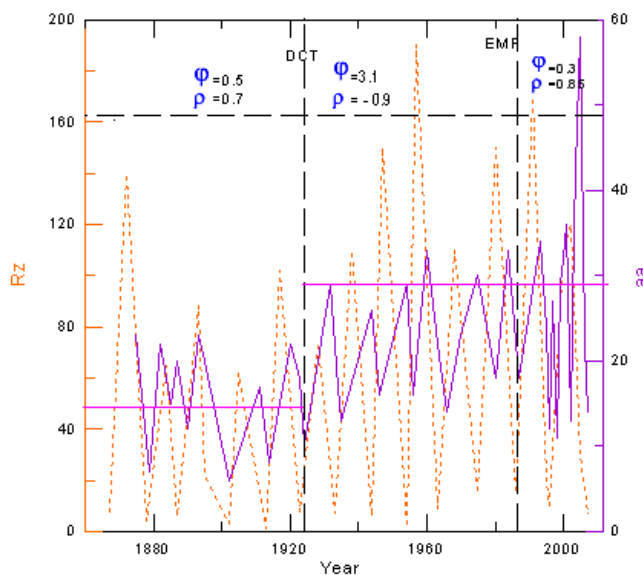


Figura 5. El número de Zurich de manchas solares Rz y el índice geomagnético aa,  $\phi$  es la fase entre ambas variables, y  $\rho$  el coeficiente de correlación. Las líneas llenas horizontales corresponden a los valores medios promediados para ambas variables.

DCT de 1923 se caracteriza por un súbito aumento de las medias y una pérdida de la fase (la correlación cambia de positiva = 0.7 a negativa = -0.9).

EMF de ~ 1980 vuelven a ponerse en fase, correlación positiva = 0.85 junto con el aumento súbito de

“flares” de alta energía

6) En 1949 y hasta 1950 se recupera la onda cíclica de Gleissberg (Youssef, 2000) y hay un cambio en la fase entre  $R_z$  y  $aa$ , es en apariencia el fin del ascenso caótico asociado con el acople de dos ondas ubicadas a distinta profundidad en el Sol, pero que la turbulencia las pone en fase por periodos esporádicos. Es clave la onda de 160 días porque es sincrónica con las transiciones caóticas ascendentes y es una medida de la vida media de las manchas solares nuevas de tipo H (Silva 2008), (Stix, 1990)

Entre 1970 y 1982 las medias bajan en las variables solares no así en las terrestres que presentan cierta inercia para acompañar los cambios sobre todo los descendentes (no así con los ascendentes).

7) Entre 1982 y 1986 se produce la excitación de la onda de 160 días (ciclo21) (Rieger *et al.*, 1984; Oliver *et al.*, 1998), una intensa cascada de flares energéticos ( $H\alpha$ , X, gamma, etc.) y una evidente emergencia de flujo magnético que termina por apagar casi totalmente las manchas solares a mediados del ciclo 22, con un marcado aumento del campo magnético fotosférico (Silva y Duhau, 2003) medido desde Kitt Peak y Mont Wilson como se observa en la Figura 6, con una nueva anulación del ciclo de Gleissberg, el fin de la excitación de la onda de 160 días, un nuevo cambio de fase  $R_z - aa$ , con un notable aumento del índice  $aa$  que absorbe el campo solar poloidal.

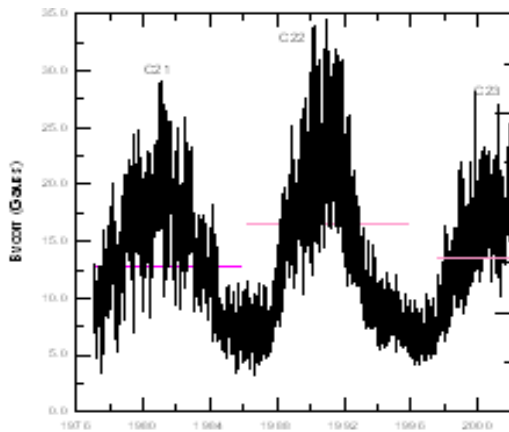


Figura 6. Campo magnético heliosférico medido por el magnetómetro de Kitt Peak. Las líneas llenas indican el valor medio del campo en Gauss. Se observa un marcado incremento durante el ciclo 22 consistente con la TCD del dínamo solar.

8) Desde allí la media parece caer a los valores de 1880 (750 manchas) y el pronóstico es que las variables terrestres llevarán varios años en responder a la transición caótica descendente comenzada en 1993-1994, de allí la línea de puntos en el gráfico.

## II) Índice SSC normalizado

Un estudio sobre la relación entre manchas solares grandes y las geomagnéticas puede encontrarse en Willis (2009). Dado que la cantidad de flujo magnético emergente es proporcional a las áreas de manchas solares (Carbonell y Ballester, 1990), cada sucesión de crecimiento y decrecimiento de las manchas inyecta energía magnética al medio interplanetario y se convierte en tormentas ionosféricas con un retraso de 3 – 4 días. En la Figura 7 se observa en forma concluyente la excitación de la onda de 160 días y el salto en el valor del índice.

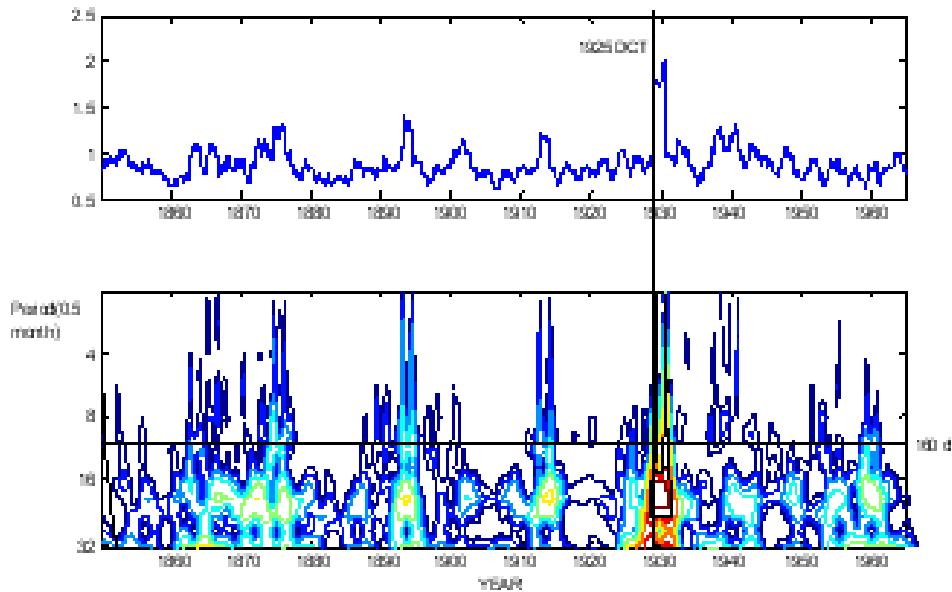


Figura 7. Panel Superior: Evolución temporal del índice SSC normalizado desde 1868 hasta 1967. El aumento en el valor medio es el efecto de la Transición caótica ascendente (TCA) de 1923-25 en los SSC incrementándolos en un factor de 2.

Panel inferior: análisis de ondeletas mediante el periodograma tiempo – período de ondas. Se excita la señal semestral en el máximo local que comienza en 1925. Este el máximo es el resultado de la emergencia del flujo magnético de las regiones activas del sol (creación-decrecimiento de las manchas solares), como lo indica la onda de 160 días.

En la figura 8 se muestra el resultado del análisis wavelet para el ciclo 21.



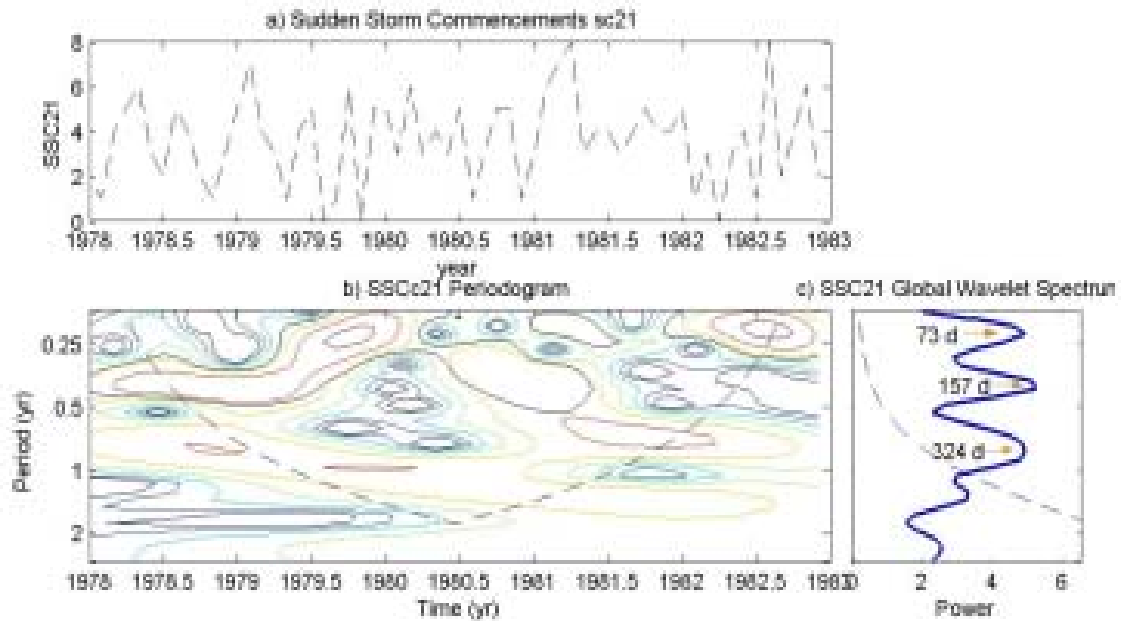


Figura 8. Serie temporal, periodograma y espectro wavelet global para el ciclo solar 21, coincidiendo con la Emergencia de flujo magnético EFM. Se observa la excitación por arriba del nivel de confianza de una onda de 157 días.

En la Figura 9 se observa el detalle del aumento del índice en el entorno de la transición caótica de 1923 –1925.

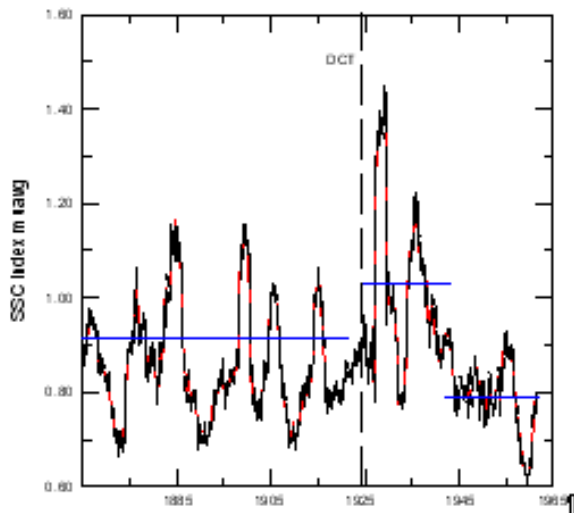


Figura 9. Evolución del índice de SSC mensualmente promediado. Ocurre un brusco crecimiento sincrónicamente con la transición ascendente del dínamo solar DCT. Las líneas llenas indican valores medios del índice.

### III) Índice aa geomagnético

En la figura 10 se observa la evolución del índice geomagnético aa desde 1880 hasta el 2006:

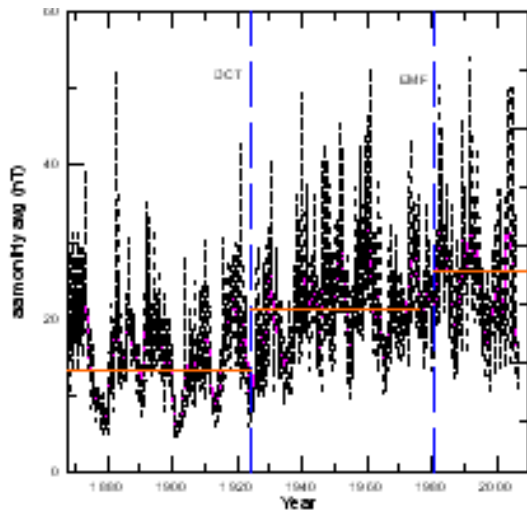


Figura 10. Promedio mensual del índice geomagnético *aa* y transición caótica solar (DCT) y emergencia de flujo magnético (EMF) Rápidos crecimientos del índice geomagnético *aa* ocurren en forma sincrónica con los cambios registrados en el dínamo solar mediante la serie del área de manchas solares (también determinado a partir del número de Wolf). Un nuevo aumento a partir de EMF.

## IMPACTO EN EL CLIMA

Existen evidencias de que los cambios climáticos globales en la Tierra son producidos por variaciones en la incidencia de rayos cósmicos (Tinsley y Yu, 2004) en el sistema de corrientes eléctricas ionosféricas; estas variaciones están a su vez fuertemente ligadas a los comienzos súbitos de tormentas geomagnéticas SSC (Duhau, 2003a)

Los trabajos de referencia para la obtención de los datos oceánicos y atmosféricos son Ambenje *et al.*, (2007); Bindoff *et al.*, (2007)

### I) Anomalía de Temperatura global

Es la diferencia entre un valor promedio general y el valor en cada periodo de tiempo.

En la Figura 11 puede observarse la reconstrucción wavelet de la serie de temperaturas alrededor de la transición caótica ascendente.

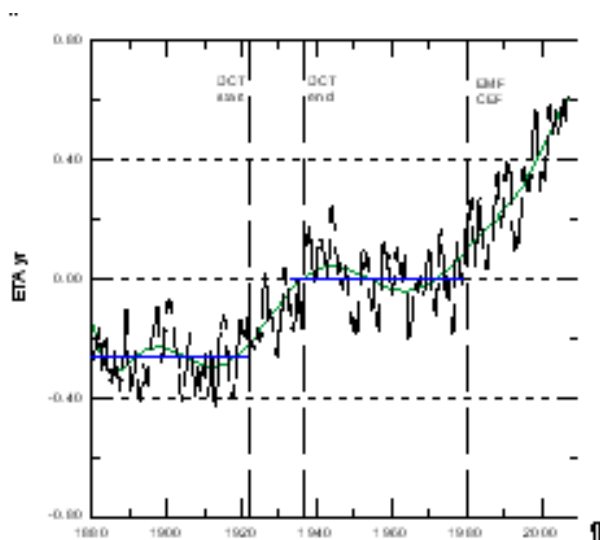


Figura 11. Anomalías de temperatura media global (negro) suavizado mediante ondas “wavelets” de períodos largos, en azul valores

medios de anomalías de temperatura.

Incremento abrupto de temperatura de  $0.26^{\circ}\text{C}$  que comienza sincrónicamente con la ocurrencia del DCT y termina con el fin de la DCT en 1948.

Después del EMF la tendencia de la temperatura parece no seguir la señal solar.

## II) Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

En la Figura 12 se muestra cómo opera la PDO.

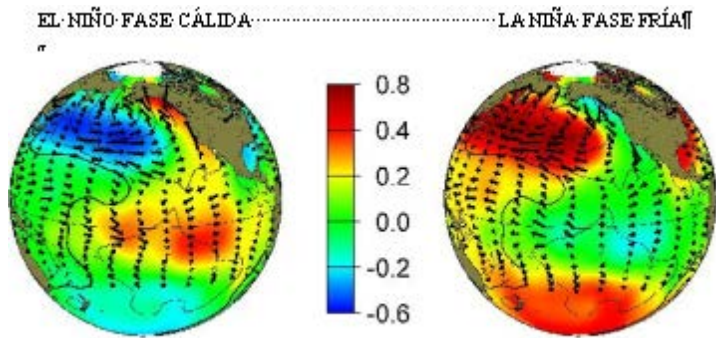


Figura 12. Patrones de anomalías durante las fases cálida y fría de la PDO: Temperatura Superficial del Mar (SST) típica del período de invierno del Hemisferio Norte (colores). Presión a nivel del mar (contornos).

Viento de superficie (flechas).

En la Figura 13 se indican los notables cambios ocurridos en la PDO sincrónicos con las variaciones solares y geomagnéticas.

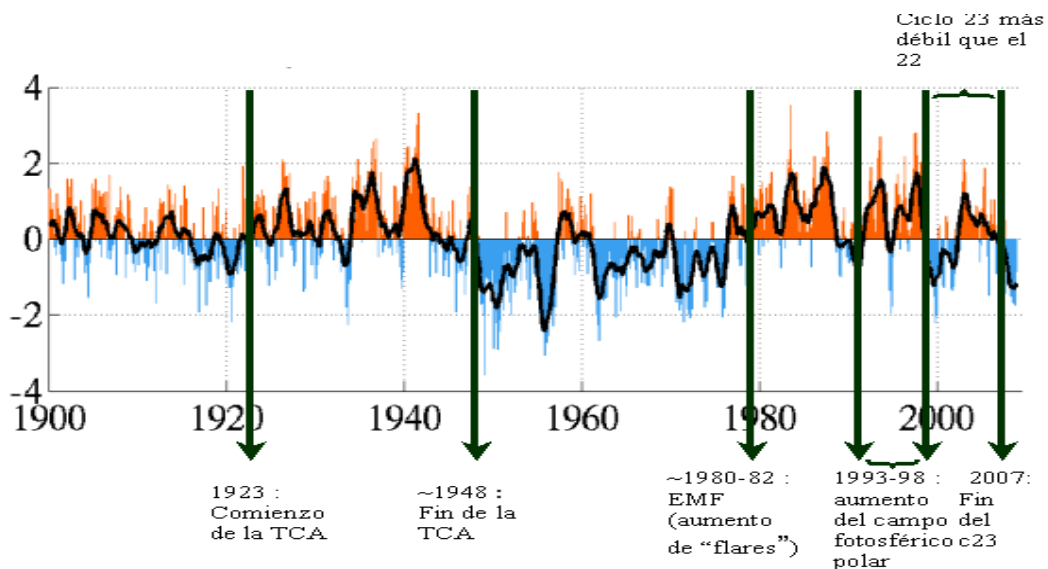


Figura 13. Se observa los cambios de polaridad, y de valor en el índice de la PDO, en la transición caótica ascendente TCA, el fin de ésta, la emergencia de flujo magnético EFM, y la transición caótica descendente TCD del ciclo solar 22

## III) Índice de la Oscilación Sur (SOI)

En la Figura 14 que indica las temperaturas oceánicas del Pacífico Sur y sus desviaciones estándar, se observa la reversión y aumento de nivel térmico asociados a la EFM y la TCD.

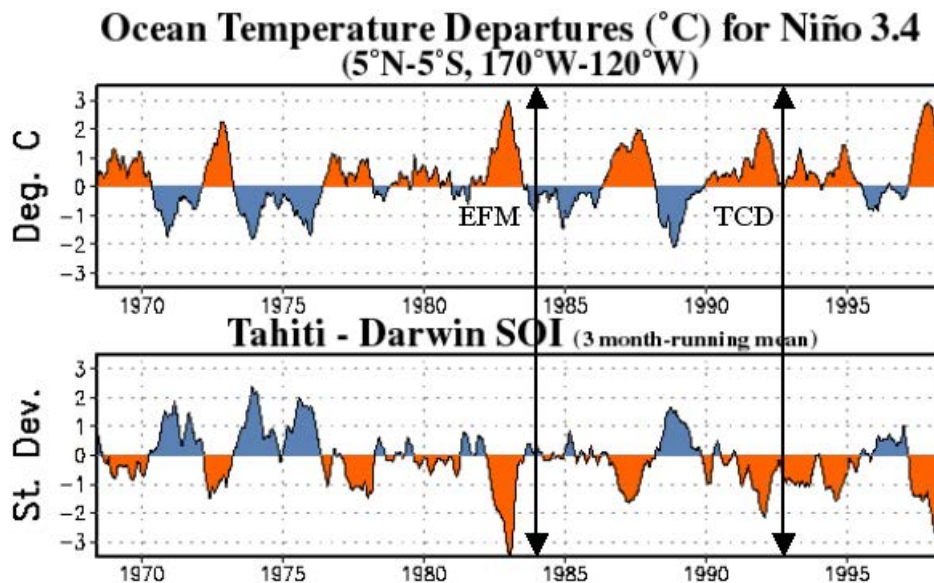


Figura 14. Índice SOI entre 1975 y 2000, las flechas llenas indican las transiciones solares.

Después de 20 años de datos satelitales de la Temperatura global hoy queda claro que el SOI es la fuente primaria de los cambios globales de año a año en la temperatura, efecto mostrado en la Figura 15.

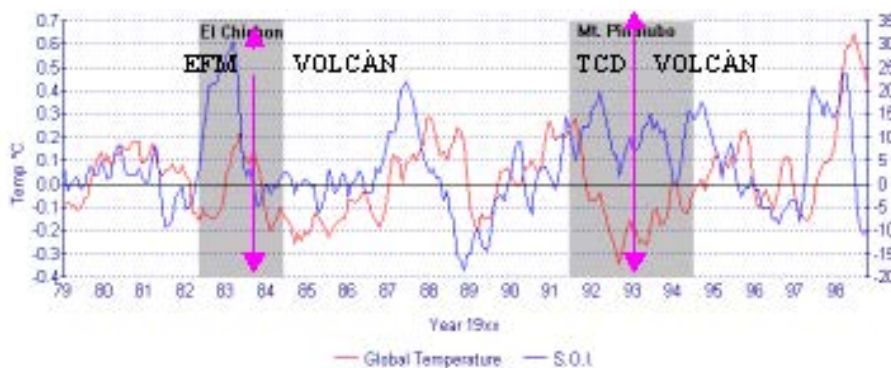


Figura 15. El índice SOI permite predecir con un adelanto temporal de 6 a 9 meses los cambios que van a acontecer en la temperatura global de la Tierra.

La respuesta mínima de la temperatura al aumento del SOI entre 1982 y 1984 es sincrónica con la violenta eyección de flujo magnético solar, y ésta con la erupción del volcán El Chichón que al producir mucho polvo y aerosoles hace que la atmósfera sea más reflectante a la irradiación solar, produciendo un descenso de la temperatura global. La erupción volcánica de Pinatubo resulta sincrónica con la transición caótica descendente del dínamo solar durante su ciclo 22, y se observa el mayor desfase entre el SOI y la anomalía en la temperatura global. El eje de ordenadas de la izquierda representa la anomalía térmica, es decir, la diferencia entre la temperatura promedio de 10 años y el valor de cada instante temporal.

#### IV) Modo Anular del Hemisferio Sur (SAM)

Los datos y gráficos fueron tomados de Marshall (2003).

En la Figura 16 se observa el Modo Anular que rodea la Antártida, se trata de un sistema de vientos que cambia drásticamente la temperatura oceánica del Atlántico Sur.

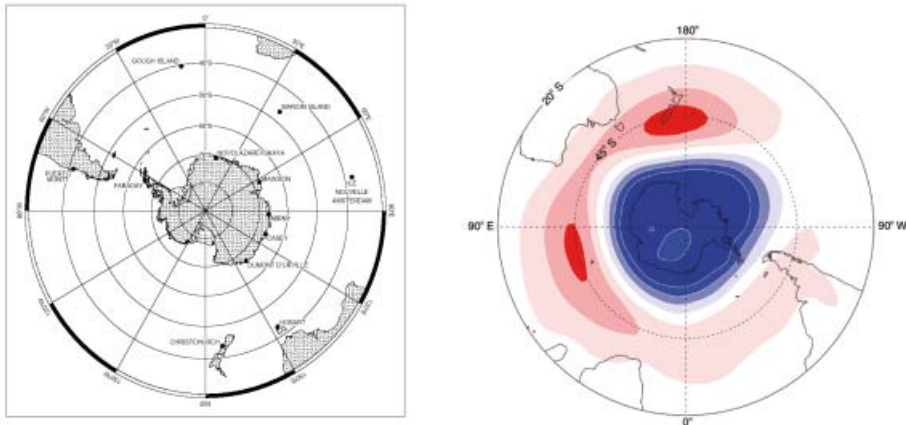


Figura 16. a) Localización de las estaciones utilizadas para el cálculo de la SAM y b) Patrón de anomalías de presión asociado a la fase positiva de la SAM (rojo sobre y azul bajo lo normal)

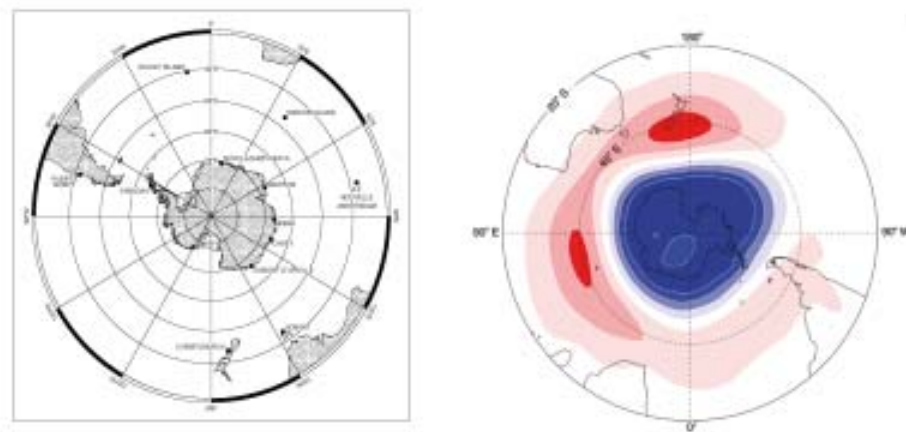


Figura 17. a) Localización de las estaciones utilizadas para el cálculo de la SAM y b) Patrón de anomalías de presión asociado a la fase positiva de la SAM (rojo sobre y azul bajo lo normal)

En la Figura 18 puede observarse el efecto sobre el índice SAM de la transición solar descendente TCD.

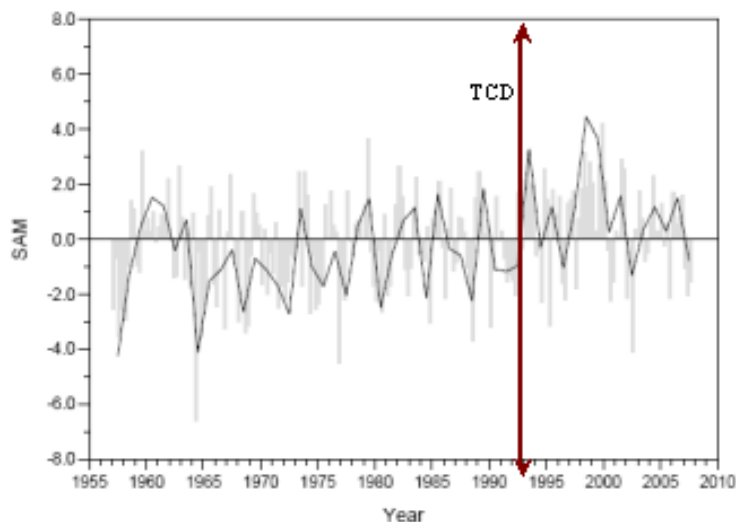


Figura 18. En 1993 la SAM pasa de fase preponderantemente negativa a fase positiva. A

la vez ocurre una transición descendente en el dínamo solar.

Ésta se visualiza en la reducción llegando a la casi extinción de las manchas solares antes de la finalización del ciclo 22, y un consecuente aumento inusual en el campo magnético fotosférico que alcanza su máximo valor histórico desde que existen mediciones de magnetómetros (1970 en adelante). Este campo poloidal llega a la ionosfera terrestre y origina las más intensas tormentas geomagnéticas registradas desde 1880, medidas a través del índice de comienzo súbito de tormenta (SSC). Esta cadena causal se ve registrada en el cambio brusco de la SAM como indica la Figura 18.

#### V) Efecto sobre las precipitaciones de la inyección de campo magnético solar en la alta atmósfera

Un análisis global del fenómeno climático de las precipitaciones es realizado por Tinsley y Yu (2004), la figura siguiente es adaptada de este estudio. En la Figura 19 se observa el impacto evidente de las transiciones solares en la formación de nubes.

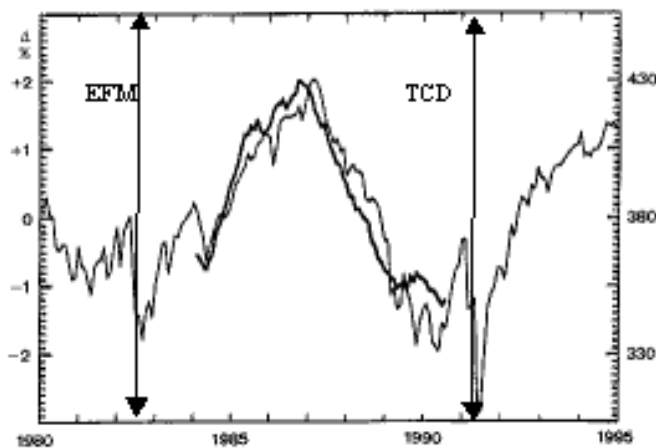


Figura 19. Tasa porcentual de Formación de nubes estratosféricas de altura e incidencia de rayos cósmicos en función del tiempo para los ciclos solares 21 y 22.

Resulta evidente que el aumento en el campo magnético solar en los eventos de emergencia de flujo magnético EFM y la transición caótica descendente del ciclo solar 22 TCD inciden directamente apantallando los rayos cósmicos y los productos secundarios de sus colisiones con moléculas de la alta atmósfera, lo que se traduce en la brusca disminución de centros de condensación formadores de nubes. Estos efectos afectan directamente el clima terrestre mediante la disminución de precipitaciones y las sequías concomitantes.

#### CONCLUSIONES

Se puede concluir que amerita un estudio profundo sobre la conexión entre los cambios en el magnetismo solar y las variables determinantes del clima terrestre, dado que existen altas correlaciones entre las variables solares y geomagnéticas por un lado, y las temperaturas, vientos y precipitaciones por otro.

## BIBLIOGRAFIA

- AMBENJE P., BOJARIU R., EASTERLING D., KLEIN A., PARKER D., RUSTICUCCI M., SODEN B. and ZHAI P. 2007. Surface and atmospheric climate change. [3]. 236 – 292 En: Ed. Salomon S. y Qin D. *Climate Change The Physical Science Basis*, Wmo, UNP. Cambridge University Press.
- BINDOFF, N.L., J. WILLEBRAND, V. ARTALE, A. CAZENAVE, J. GREGORY, S. GULEV, K. HANAWA, C. LE QUÉRÉ, S. LEVITUS, Y. NOJIRI, C.K. SHUM, L.D. TALLEY and A. UNNIKRISHNAN, 2007: Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- BALLESTER J.L, OLIVER R, BAUDIN F., 1999. Discovery of the near 158 day periodicity in group sunspot number during the Eighteenth Century. *Astrophys. J.* 522, L153-L156
- BALLESTER J.L., OLIVER R. y CARBONELL M., 2002. The Near 160 day Periodicity in the photospheric magnetic flux. *Astrophys. J.* 566: 505-511.
- BAZILEVSKAYA G. A., 2000. Observations of variability in Cosmic rays. *Space Sci. Rev.* 94: 25-38.
- BOGART R. y BAI T., 1985. Confirmation of a 154 day periodicity in the occurrence of solar flares inferred from microwave data. *Astrophys. J.* 299: 51-55.
- CARBONELL M., y BALLESTER J.L., 1992. The periodic behaviour of solar activity: the near 155 – day periodicity in sunspot areas. *Astron. Astrophys.* 255: 350-362.
- CARBONELL M., OLIVER R. y BALLESTER J.L., 1994. A search for chaotic behaviour in solar activity. *Astron. Astrophys.* 290, 983 – 994.
- CHARBONNEAU, P., 2005. Dynamo Models of the Solar Cycle, *Living reviews in Solar Physics* 17 – 41
- DUHAU S.S., 2003a. Global Earth temperature changes induced by mean Sun dynamo magnetic field variations. p. 317 – 321. Ed.: A. Wilson. :*Proc. ISC Symposium: Solar variability as an input to the Earth's environment*. European Space Agency Publications Division. Tatranská Lomnica, Slovak Republic.
- DUHAU S. S., 2003b. On the nature of the steep changes in solar and geomagnetic activity after 1705, 1923 and 1993. p. 91 – 94. Ed.: A. Wilson. :*Proc. ISC Symposium: Solar variability as an input to the Earth's environment*. European Space Agency Publications Division. Tatranská Lomnica, Slovak Republic.
- DUHAU S. y CHEN C.Y., 2002. On the causes of the sudden increase of solar dynamo magnetic field after 1923. *Geophys. Res. Lett.* 29 (13): 6-10
- LEAN J., 1990. Evolution of the 155 day periodicity in sunspot areas during solar cycles 12 to 21. *Astrophys. J.* 363: 718-727.
- MARSHALL, G. J., 2003: Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. *J. Clim.*, 16: 4134-4143.
- OLIVER R., BALLESTER J. L. y BAUDIN F., 1998. A 160 day periodicity and the Emergence of magnetic flux. *Nature* 394: 552-554
- SHARE A, FORREST GH, KANBACH DJ, REPPIN G, CHUPP C, 1985. A 154-day periodicity in the occurrence of hard solar flares? *Nature* 312: 623-625.
- SCHMITT D., SCHÜSSLER M. y FERRIZ-MAS A. 1996. Intermittent solar activity by an on-off dynamo. *Astron. Astrophys.*, 311: 1-4.



- SCHÜSSLER M. Y SCHMITT D., 2004. Theoretical Models of Solar Variability. 33 – 49 Ed.: J. Pap and P. Fox. Solar Variability and its Effects on Climate, AGU Geophysical Monograph 141.
- SILVA A. M., 2008a. A solar magnetic flux emergence signature in geomagnetic storm sudden commencements and aa index. *EOS Trans. American Geophysical Union* AGU, 89 (23):31-32.
- SILVA A. M., 2008b. impulsive changes in solar dynamo and its effects in the ssc's, geomagnetic field and earth anomalies temperature. *EOS Trans. American Geophysical Union* AGU, 89 (23):42-43.
- SILVA A. M., 2007. Study of oscillations in Solar-Terrestrial variables. p 45-46 *Proc. American Geophysical Union Fall Meeting 2007*, American Geophysical Union Publishers, San Francisco USA
- SILVA A. M., 2005 Oscilaciones fundamentales y subarmónicos en la actividad solar y el radio medio del Sol. *Anales Asoc. Fís. Arg.*, 16:35-40.
- SILVA A.M. Y DUHAU S., 2003. The 160-day periodicity in the  $\gamma$ - flare occurrence rates and sunspot areas during CGRO mission. *Ann. Asoc. Fís. Arg.*, 14:292-297.
- STIX M., 1990. The Solar Cycle [8.4]. 301 –315. Ed. Astronomy and Astrophysics Library. The Sun, Springer-Verlag, Berlín, West Germany.
- STIX, M. 1980. Theory of solar cycle. 80 – 99. Ed. Akademie-Verlag, Berlín. Mean Field Magnetohydrodynamics and Dynamo Theory. Pergamon Press, Oxford.
- TINSLEY B. A. Y YU F., 2004. Atmospheric Ionization and Clouds as Links between Solar Activity and Climate. 321 – 339. Ed.: J. Pap and P. Fox. Solar Variability and its Effects on Climate. AGU Geophysical Monograph 141.
- TORRENCE CH. y COMPO G.P., 1998. A practical Guide for the Wavelet Analysis. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 79 (1): 61-78.
- WILLIS D.M., HENWOOD R. y STEPHENSON F. R., 2009. The presence of large sunspots near the central solar meridian at the times of major geomagnetic storms. *Ann. Geophys.*, 27:185-197
- YOUSEF S.H., 2000. The solar Wolf-Gleissberg Cycle and its influence on the Earth. *ICEHM 2000*, Cairo University, Egypt, 267-293
- ZWAAN C., 1985. The emergence of magnetic Flux. *Solar Phys.*, 100: 397-414.





**Políticas nacionales y sectoriales de  
prevención, mitigación, rehabilitación o  
adaptación a los cambios globales.**





# **CERO FÓSILES EN 2050. TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN ARGENTINA: EL ROL DE LAS FUENTES RENOVABLES.**

*Zero Fossils by 2050. Energy transition in Argentina:  
the role of renewable energy sources.*

**Roque Pedace**

Maestría en Política y Gestión de la C&T-UBA,  
Facultad de Farmacia y Bioquímica. Junín 954, Buenos Aires.  
roque.pedace@gmail.com

## **RESUMEN**

Se analiza la contribución de distintas fuentes renovables de energía para escenarios de restricción climática. Para un presupuesto global de 750 GT de CO<sub>2</sub> entre 2000 y 2050 se supone una trayectoria en Argentina tal que las emisiones llegarán a un máximo antes del 2020 y a cero en 2050. Todas las fuentes analizadas tienen un potencial energético mayor que el demandado al final del período considerado. La energía eólica es la opción más competitiva y de mayor potencial en el corto plazo, dependiendo su penetración de la diversificación geográfica. La bioenergía compite con otros usos por recursos como tierra y agua, siendo el potencial de biogás considerablemente mayor que el de los biocombustibles líquidos. La energía solar tiene el mayor potencial para servir usos finales de modo descentralizado.

Es posible con las tecnologías presentes realizar la sustitución completa de los fósiles. No se requiere H<sub>2</sub> como vector ni aumentar el almacenamiento centralizado de modo sustancial. Las decisiones clave en la transición incluyen: usos de la infraestructura de transporte de gas y electricidad para absorber intermitencias, tanto a nivel nacional como regional, de las distintas fuentes; optimizar el balance entre la tendencia a la descentralización y el uso de la infraestructura energética centralizada; definir la competencia en el sector transporte entre la electrificación y vectores bioenergéticos gaseosos y líquidos.

**Palabras clave:** prospectiva tecnológica, retrodicción, energías renovables, escenarios de cambio climático.

## **SUMMARY**

We analyze the contribution of different renewable energy sources to energy scenarios with climatic constraints. Under a 750 GT CO<sub>2</sub> global budget (between 2000 and 2050), Argentina is supposed to follow an emission pathway peaking before 2020 and reaching zero by 2050. All of the sources analyzed could function as backstop technologies. Wind energy shows the biggest potential and is the most competitive in the short term, with its penetration depending on geographic diversification. Bioenergy competes for land and water with alternative uses, with biogas prospectively being considerably more important than liquid biofuels. Solar energy, both PV and thermal, give the highest potential for maximizing decentralized final uses.

We conclude that it is possible with current technologies to completely phase out fossil fuels by 2050. Neither H<sub>2</sub> as an energy carrier nor dramatically increased centralized storage is needed. Key options to be defined during the transition are: integration of different renewable sources to smooth out intermittence, both at national and regional

level; balance between use of centralized energy infrastructure, mainly dams and natural gas pipelines, and increased decentralization; and competition in transport between electrification, biogas and liquid biofuels

**Key words:** technology forecasting, backcasting, renewable energy, climate change scenarios.

## INTRODUCCIÓN

El avance del conocimiento científico sobre el Cambio Climático a nivel global, desde la adopción del Protocolo de Kyoto en 1997, ha confirmado que los impactos esperables están afectados por varias incertidumbres que no son fácilmente reductibles, e.g. la determinación de la sensibilidad del sistema a la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la posibilidad de cambios abruptos irreversibles, la cuantificación en términos económicos de estos impactos y de la mitigación de los mismos.

Por otro lado, los datos observacionales y los estudios recientes confirman las previsiones más extremas hacia el calentamiento y algunos de sus impactos, incluyendo la realimentación positiva del proceso. Por tal razón, se ha fortalecido el argumento en favor de la aplicación del principio de precaución y, por tanto, la necesidad de disminuir las emisiones globales de GEI en el menor tiempo posible a fin de evitar escenarios de daños irreversibles. Esto se refleja en la aceptación creciente de la imposibilidad de compensar económicamente estas pérdidas. En consecuencia, los análisis de costes y beneficios de las medidas de mitigación versus aquellos de la adaptación tienden a ser desplazados en favor de la adopción de abordajes que maximicen la seguridad, aceptando el riesgo de que los costes no se revelen como los mínimos posibles *ex post*.

Desde la publicación del Cuarto Informe del Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático se han publicado varios trabajos que apuntan a mantener el sistema climático en límites tolerables de acuerdo con una serie de criterios cuantitativos, e.g. concentración de CO<sub>2</sub> (Hansen *et al.*, 2008; Schellnhuber, 2008; Ackerman *et al.*, 2009; Allen *et al.*, 2009; Baer *et al.*, 2009; Rokstrom *et al.*, 2009). Lo que tienen en común es que plantean la necesidad de aplicar el mayor esfuerzo de reducción de las emisiones globales de GEI en las próximas décadas de modo tal que la transición a un sistema energético libre de combustibles fósiles estaría en lo esencial completada entre el 2030 y el 2040. Este es un dato de gran relevancia para la planificación ya que la mayor parte de los estudios econométricos sobre la sustitución de tecnologías energéticas se concentra en el horizonte 2030 (Ackerman *et al.*, 2009).

En la Figura 1 se muestra la trayectoria o “sendero” que tendrían las emisiones globales bajo una restricción de 750 GT de CO<sub>2</sub>. Obsérvese que la proyección tendencial retoma la tendencia creciente luego de la caída en la recesión 2008-2009, mientras que para alcanzar las 350 ppm de CO<sub>2</sub> se requiere una inmediata caída. Un escenario que limita el calentamiento a 2 °C con buenas probabilidades, (Meinshausen *et al.*, 2009) sigue una trayectoria similar, a diferencia del propuesto por los países económicamente más poderosos del G8, tal como se indica en la Figura 2.

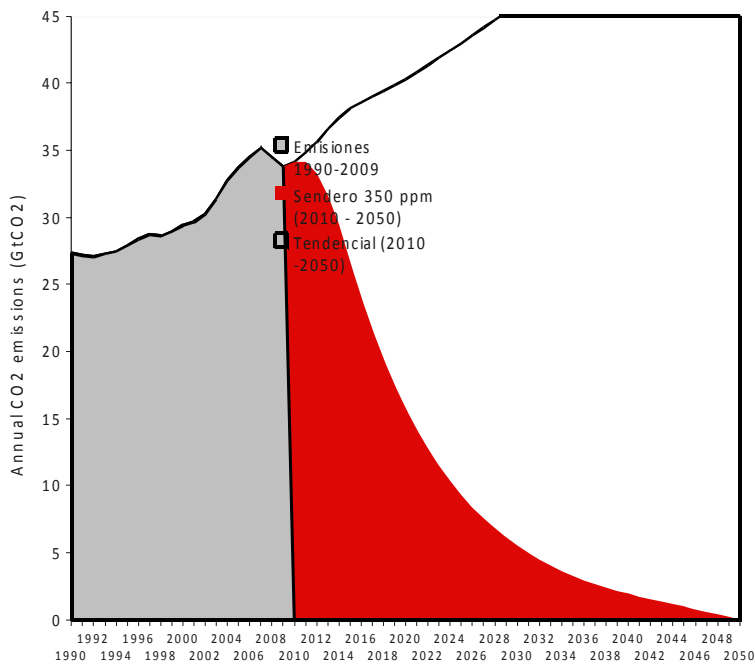


Figura 1. Emisiones globales de CO<sub>2</sub> en GT. El área gris corresponde a las emisiones medidas y calculadas hasta 2009. El área en rojo corresponde a las emisiones del Sendero de 350 ppm de CO<sub>2</sub>. La curva dibujada en negro corresponde a las emisiones de un escenario tendencial a partir de 2010. (Baer *et al.*, 2009).

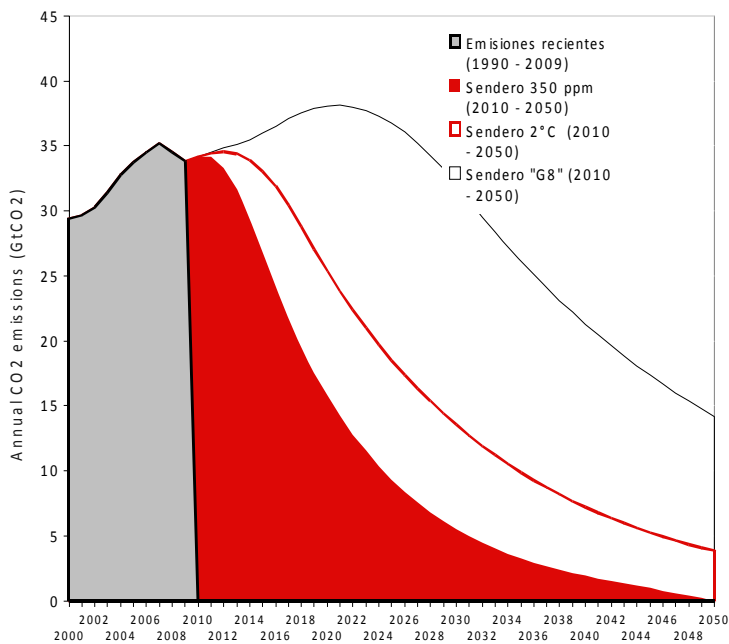


Figura 2. Comparación de tres senderos de emisiones anuales: el de 350 ppm (ver Figura 1), el 2°C de Meinshausen y el calculado a partir de los compromisos del G8. Obsérvese que aunque la transición ocurre con un retardo considerable y creciente entre los dos primeros, ambos llegan al 50% de las emisiones de 1990 antes de 2030, mientras que el G8 lo hace en 2050. Adaptado de Baer *et al.*, 2009.

En la Tabla 1 se comparan los senderos 350 ppm y 2 °C, cuyos puntos de inflexión (máximos de la tasa de reducción) ocurren poco después del máximo, en 2016 y 2020, respectivamente.

Tabla 1. Comparación de los dos senderos de alta restricción presupuestaria de la Figura 2. Baer *et al.*, (2009).

	Sendero 350 ppm	Sendero 2°C
Presupuesto acumulado de CO2 t (2000 a 2050)	750 GtCO2	1000 GtCO2
CO2 restante ( 2010 a 2050)	420 GtCO2	670 GtCO2
Año en que se alcanza el Máximo de emisiones	2011	2013
Máximo expresado en % por encima del nivel en 1990	25 %	27 %
Tiempo desde el máximo hasta el máximo de decrecimiento	5 años	7 años
Emisiones 2020 como % bajo 1990	- 42 %	- 7 %
Emisiones 2050 como % bajo 1990	- 100 %	- 86 %

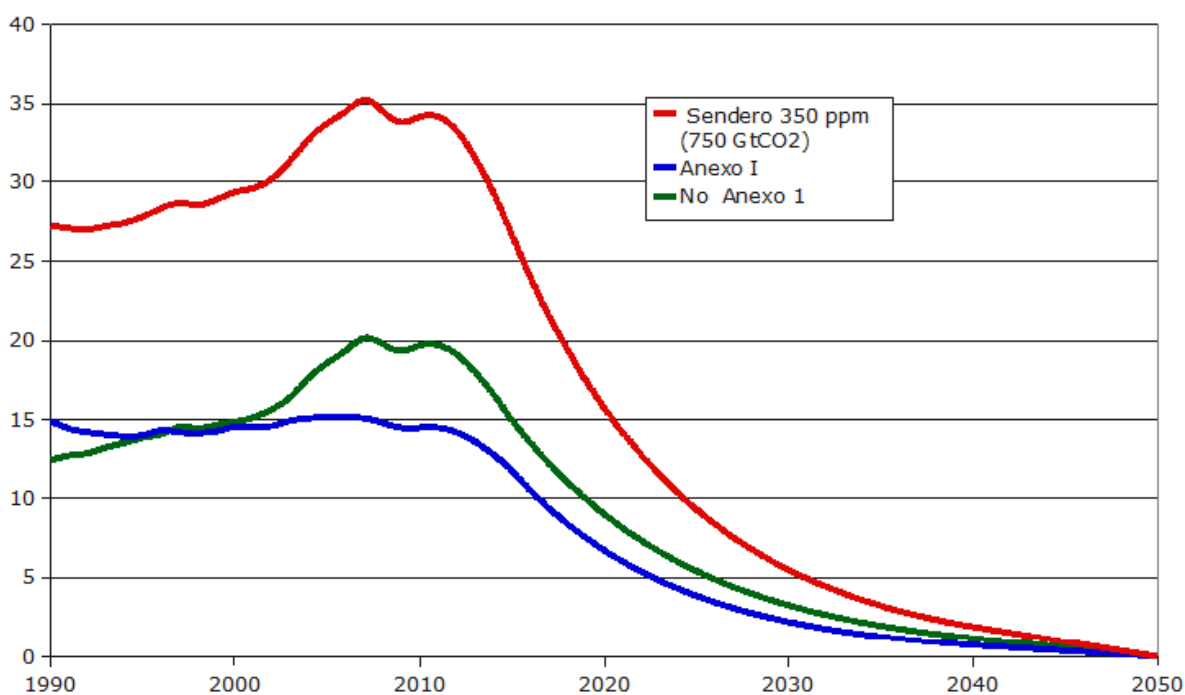


Figura 3. Las emisiones, en GT, gigatoneladas anuales de CO2, globales y de los dos grupos de países, Anexo I y No Anexo I, bajo el presupuesto del sendero 350 ppm.

El área bajo la línea roja es la suma de la que queda definida por las otras dos curvas. Adaptado de Baer *et al.*, 2009

Es decir, que en el nivel global el mayor esfuerzo de sustitución se condensa en la segunda y tercera décadas de este siglo y, por tanto, con las tecnologías actualmente disponibles. En la Figura 3 se muestra la trayectoria de emisiones de los países industrializados (Anexo I), suponiendo que reducen sus emisiones a la mitad del año base (50% de 1990) en 2020, un objetivo apenas superior al 45% que muchos países no industrializados exigen en las negociaciones sobre Cambio Climático. El conjunto de estos últimos, esto es los No Anexo I, deben seguir la trayectoria definida por

sustracción de aquella global que satisface el presupuesto de 750 GT (en rojo en la Figura 3).

### **Aplicación de la restricción presupuestaria de carbono a la transición energética en Argentina**

En este trabajo se procura mostrar las características de una posible transición de la matriz energética argentina mediante la identificación de las opciones tecnológicas que debieran priorizarse. Se ha partido del análisis de los potenciales de mitigación (“cuñas”) de distintas fuentes a lo largo de los próximos cuarenta años. Estos límites cuantitativos definen condiciones para los estudios retrodictivos (backcasting) que permiten elucidar el rol de cada una de las fuentes en el proceso de sustitución (Pedace y Massarini, 2007). Los objetivos de reducción de emisiones son tales que el máximo se alcanza antes del 2020 y disminuyen hasta cero en el 2050 a partir de entonces. De este modo, el sendero de reducción resulta similar al promedio de los países No Anexo I que se presenta en la Figura 3.

El análisis de la oferta energética se complementa con el de la evolución de los usos finales, i.e. con un estudio de la demanda. El presente es un abordaje estilizado y por ende cualitativo del problema de las opciones en escenarios de oferta que se basa en estudios previos sobre la dinámica del conjunto del sistema (Pedace y Codner, 2006). En ellos hemos mostrado que la restricción en la demanda por vía de eficiencia o uso racional, incluyendo la disminución de los usos intensivos en energía, tiene importancia para determinar la capacidad de uso de la infraestructura ya instalada para la penetración de nuevas fuentes (e.g. generación de respaldo de centrales hidroeléctricas, gasoductos) y, por lo tanto influir en el *tempo* del proceso de sustitución. Sin embargo, no aparece como factor determinante de la participación de cada una de las opciones tecnológicas en las trayectorias posibles del sistema y por tanto no la incluiremos en este análisis.

### **Rol de las fuentes de energía renovables.**

Se ha estudiado aquellas fuentes de las cuales existe un adecuado conocimiento del recurso y de sus aplicaciones. No se ha incluido la energía geotérmica ni la oceánica (mareas, corrientes y ondas marinas) porque la evaluación de estos recursos es incompleta y, sobre todo, porque las tecnologías respectivas presentan una penetración menos dinámica y más incierta en los escenarios globales. A pesar de ello, por su alta previsibilidad contribuirían a compensar la intermitencia de las demás y por tanto ameritan consideración en futuros estudios prospectivos.

### **Energía Eólica**

El potencial técnico de generación eléctrica en el territorio continental argentino excede varias veces el de la capacidad instalada del Cono Sur ( $\gg 1000$ GW). Recientes estudios estiman de manera muy conservadora el potencial en 43 petavatios eléctricos, lo cual se compara con los 120 teravatios de generación actual (Xi Lua *et al.* 2009). Más importante aún, más de la mitad del parque eólico tendría una capacidad de carga cercana al 50% (mayor que la del parque hidroeléctrico), optimizando así el transporte masivo de esa generación y su incorporación al anillo sin necesidad de almacenamiento. La transmisión de muy larga distancia, probablemente mediante líneas de alto voltaje de corriente continua, supone fortalecer la integración eléctrica regional (Cono Sur) o aún continental a fin de volcar los excedentes en países vecinos para maximizar su participación en la generación. En el muy largo plazo la generación de hidrogeno como



vector sustituto se ha propuesto bajo el supuesto de una adecuación del sistema de distribución y de los equipos en distintos usos finales (transporte, residencial). Se ha planteado ya el aprovechamiento de la extensa red de gasoductos construida para gas natural, tanto mezclado con metano como en estado puro. Tanto la generación de electricidad como la producción de H<sub>2</sub> serían intermitentes, lo cual se compensaría con el almacenamiento en las respectivas redes. Sin embargo, no resulta evidente su ventaja respecto de la utilización directa de electricidad o el almacenamiento distribuido de la misma (Pedace y Codner, 2006). Como se ha comprobado en varios casos nacionales y regionales de gran magnitud, la entrada en varios puntos geográficos del sistema eléctrico que gocen de distintos regímenes de vientos permite compensar la variabilidad de la generación total del parque eólico y minimizar la necesidad de transmisión a distancia. La generación costa afuera parece relevante sólo en este último rol, por ejemplo, en las aguas muy próximas a grandes líneas de alta tensión en la costa atlántica, donde la conexión sería más económica que el transporte desde el norte o centro de la Patagonia y aportaría potencia al sistema a favor de un régimen de vientos complementario al de esta última región.

### **Bioenergía**

Estudios recientes revelan que el potencial técnico de residuos agrícolas y silvícolas es suficiente en el corto plazo para la generación eléctrica descentralizada, la energización rural y en menor medida para la producción de combustibles. Sin embargo, como fuente sustitutiva de combustibles líquidos fósiles para los grandes mercados es irrelevante. La producción de cultivos energéticos con este fin exigiría una superficie significativa de tierras agrícolas, aun suponiendo la producción de biocombustibles de generación más avanzada. Una oportunidad mejor en cuanto al uso del suelo y del agua y la producción sustentable de alimentos la brinda la generación de biogás, que sustituye gases fósiles y que puede utilizar la capacidad instalada de gasoductos. Una transición ordenada permitiría utilizar los excedentes de los usos locales o microregionales en los gasoductos ya instalados. Además del uso en el transporte, tendría un rol relevante en máquinas térmicas o celdas de combustible para compensar fluctuaciones de las fuentes intermitentes. En el más largo plazo la producción de macroalgas en el mar o de macro y microalgas en el continente podría cubrir todas las necesidades de vectores energéticos, de biomateriales y aun de parte de los alimentos con menores insumos. La mayor parte de las tecnologías que se valen de esta fuente son comerciales o se hallan en fase de planta piloto.

### **Solar térmica**

El potencial técnico de esta opción es relevante en el corto plazo para sustituir metano y electricidad en medio urbano para la producción de calor descentralizada (e.g. captación en edificios para agua caliente, calefacción). En más largo plazo compite con la energía solar fotovoltaica en la generación eléctrica descentralizada y en parques de alta potencia, en particular con tecnologías no demandantes de agua (eg, motores Stirling en sistemas de concentración) ya que la provisión de la misma es crítica en regiones de máxima insolación y no puede sustituirse en máquinas que utilicen vapor. También puede jugar un rol relevante en la producción de calor industrial (e.g. industria química) y, sólo a muy largo plazo, de H<sub>2</sub>.

### **Solar Fotovoltaica**

El nicho de electrificación rural y generación descentralizada, sobre todo en pequeñas redes, tiende a expandirse rápidamente en el mundo y su madurez técnica está probada.

En el mediano plazo puede ser un aporte significativo en la generación eléctrica urbana tanto integrada a edificios como en parques de pequeño porte al alcanzar el coste de paridad de red. Más allá del 2030 puede ser la tecnología de generación eléctrica dominante en la región por su versatilidad. Sólo a posteriori la generación de H<sub>2</sub> con los excedentes eléctricos parece adquirir alguna relevancia (Pedace y Codner, 2006).

## CONCLUSIONES

Las cuñas por fuentes son suficientes con la tecnología existente para la sustitución total de los fósiles en toda la matriz energética argentina en el horizonte 2050. Cada una de ellas por sí sola tiene la capacidad de hacerlo (tecnologías llamadas *back-stop*) pero sus posibles roles en la matriz están bien diferenciados y por lo tanto debieran investigarse las sinergias a lo largo del tiempo para el diseño de posibles trayectorias teniendo en cuenta criterios que trascienden el sistema energético, e.g. prioridades sociales. Tal como ocurre en la transición expuesta en los escenarios de presupuesto de alta restricción climática (Figuras 2 y 3), las tecnologías actualmente conocidas pueden dar cuenta del mayor esfuerzo de sustitución de fósiles en las próximas dos décadas.

La integración regional eléctrica (Mercosur, anillo suramericano) y la optimización de la distribución geográfica en la entrada de distintas fuentes intermitentes facilitarían el manejo de la variabilidad de la oferta eléctrica nacional. En la sustitución del gas natural los gasoductos pueden tener un papel similar en los intercambios regionales de biogás y tal vez mucho más tarde de H<sub>2</sub>. El H<sub>2</sub> aparece como el vector necesario para sustituir todos los usos de combustibles fósiles en el caso de las tecnologías que sólo producen electricidad (eólica y fotovoltaica), pero no lo sería si el aporte de bioenergía resultase relevante y/o si tales usos finales pudieran ser electrificados.

La electrificación progresiva de la matriz continuaría en todos los casos favoreciendo la penetración de las renovables para generación eléctrica. La evolución de las tecnologías y de los usos finales en transporte y las formas de almacenamiento determinarían la proporción final en la matriz como lo haría también la competencia entre H<sub>2</sub> y vectores bioenergéticos. En particular, en el caso del transporte urbano y a más largo plazo el interurbano, tanto de pasajeros como de cargas, estos factores dependerán de decisiones tempranas sobre infraestructura. En base a la prospectiva tecnológica descrita se justifica una planificación energética de largo plazo que incluya todas las fuentes consideradas para su incorporación en distintos plazos de manera flexible. Lo acontecido hasta hoy en materia de integración regional muestra que la prioridad dada a las necesidades de corto plazo y las estrategias empresariales conducen a inversiones inadecuadas, contribuyen a la crisis energética local y global y promueven conflictos regionales por bienes naturales escasos, como el gas natural o los ríos. En consecuencia, una planificación de largo plazo requeriría comenzar por acuerdos básicos en la región sobre los objetivos de la transición energética y en formas de cooperación que satisfagan criterios sociales y ambientales. Esto incluye el aprovechamiento de la infraestructura que ya existe, pero sobre todo implica definir la adecuación de los objetivos de la transición a la agenda de sustentabilidad global de la región. La identificación de las sinergias e incertidumbres clave en este proceso de definición de las políticas sectoriales debiera ser una prioridad del trabajo común. Por cuanto el grueso de la sustitución se debe y puede realizar con tecnologías ya disponibles o en fases muy avanzadas de desarrollo aquí analizadas, aquellas opciones de más largo plazo no debieran absorber prioritariamente los esfuerzos de I&D.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, M.R.; FRAME, D.J.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C.D.; LOWE, J.A.; MEINSHAUSEN, M. and MEINSHAUSEN, N. 2009. Warming caused by cumulative carbon emissions: towards the trillionth tonne. *Nature* 458: 1163-1166.
- ACKERMAN, F.; STANTON, E.A.; DECANIO, S.J.; GOODSTEIN, E.; HOWARTH, R.B.; NORGAARD, R.B.; NORMAN, C.S. and SHEERAN K.A. 2009. *The Economics of 350: The Benefits and Costs of Climate Stabilization*. Economics for Equity and Environment, [www.e3network.org](http://www.e3network.org)
- BAER, P.; ATHANASIOU, T. and KARTHA S. 2009. A 350 ppm Emergency Pathway . <http://gdrights.org/2009/10/20/a-350-ppm-emergency-pathway>
- HANSEN, J.; SATO, M.; KHARECHA, P.; BEERLING, D., BERNER, R.; MASSON-DELMOTTE, V.; PAGANI, M.; RAYMO, M., ROYER D.L. and ZACHOS J.C. 2008. Target Atmospheric CO<sub>2</sub>: Where Should Humanity Aim?. *The Open Atmospheric Science Journal* 2: 217-231.
- MEINSHAUSEN, M.; MEINSHAUSEN, N.; HARE, W., RAPER, S.C.B.; FRIELER, K.; KNUTTI, R.; FRAME, D.J. and ALLEN, M.R. 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *NATURE* 458: 1158-1163.
- PEDACE, R. y CODNER, D. 2006. Prospectiva de hidrógeno: escenarios sustentables y agenda de I&D de largo plazo, *Petrotecnia*, Año XLVI.
- PEDACE, R. y MASSARINI, A. Políticas para el largo plazo en escenarios de alta restricción climática (2009). *Desafíos del Cambio Climático y Global en Argentina*. 325-327. Eudeba.
- ROCKSTRÖM J., STEFFEN W., NOONE, ÅSA PERSSON, F. STUART CHAPIN, III, ERIC F. LAMBIN, TIMOTHY M. LENTON, MARTEN SCHEFFER, CARL FOLKE, HANS JOACHIM SCHELLNHUBER, BJÖRN NYKVIST, CYNTHIA A. DE WIT, TERRY HUGHES, SANDER VAN DER LEEUW, HENNING RODHE, SVERKER SÖRLIN, PETER K. SNYDER, ROBERT COSTANZA, UNO SVEDIN, MALIN FALKENMARK, LOUISE KARLBERG, ROBERT W. CORELL, VICTORIA J. FABRY, JAMES HANSEN, BRIAN WALKER, DIANA LIVERMAN, KATHERINE RICHARDSON, PAUL CRUTZEN & JONATHAN A. FOLEY\_A 2009. Safe operating space for humanity *Nature* 461, 472-475 |
- SCHELLNHUBER, H.J. 2008. Global warming: Stop worrying, start panicking? *PNAS* 105(38): 14239–14240
- XI LUIA, MCELROY, M.B. and JUHA KIVILUOMAC. 2009. Global potential for wind-generated electricity .<http://www.pnas.org>





# EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES

## *Climate change and energy renewable*

**Ernesto Mario Leikis**

Energy Institute-UK  
Rocamora 4019 Piso 1º, (1184) Ciudad de Buenos Aires  
leikisernesto@hotmail.com

### **RESUMEN**

Las sequías más intensas produjeron pérdidas de cuatro millones de toneladas en la cosecha de cereales del año 2008; las lluvias torrenciales causaron inundaciones, evacuados, la pérdida de vidas humanas y materiales. Estas son algunas de las implicancias del cambio climático, causado por el incremento de los tenores de metano y dióxido de carbono en la atmósfera producido por el transporte entre otras fuentes. Las demandas de energía pueden disminuirse (aunque sólo insuficientemente) con el Uso Racional de la Energía y se impone el aumento de la oferta mediante las energías renovables (“limpias”) y electrificar al máximo el transporte ferroviario urbano y de media y larga distancia. El objetivo de este trabajo es presenta las múltiples alternativas para generar energías alternativas en Argentina.

**Palabras claves:** cambio climático, energías alternativas renovables

### **SUMMARY**

The intense draughts (harvest 2008 of cereals, four million metric tonnes lost); torrential rains, causing floods, more evacuees and loss of human lives and materials. These are some implications of climate change, caused by increase of carbon dioxide and methane content in atmosphere, produced for the transportation.

The demands of energy can be diminished with its rational use, but insufficiently when alone; is imperative growing supply of Renewables (“clean”) Energies and electrifying transportation by suburban, short and long distance railroads. The objective of this work is presented the multiple alternatives to generate alternative energies in Argentina.

**Key words:** climate changes, renewable alternative energy

### **INTRODUCCIÓN**

La Ciudad de Buenos Aires está ubicada a la vera del río más ancho del mundo, que por tal razón fue llamado inicialmente Mar Dulce, tiene por resultado que se sufran menos los rigores del Cambio Climático. En efecto, la inercia térmica de esa enorme masa de agua absorbiendo el exceso de calor cuando el sol aprieta, aportando humedad al aire muy seco, los desagües pluviales o devolviendo el calor antes absorbido ante una masa de aire polar, beneficia el confort de los ciudadanos de Buenos Aires. Sin embargo las áreas rurales de Argentina han sufrido una sequía que puede mermar el rendimiento de la agricultura tradicional. En la cosecha del año 2008 se perdieron cuatro millones de toneladas de cereales (trigo y maíz). En principio estas serían algunas de las consecuencias de variaciones climáticas que se potenciarían con el cambio climático. Otras consecuencias pronosticadas son la desecación de ríos, el incendio de bosques, la retracción de los glaciares (que constituyen la reserva de agua dulce) e incluso la

licuación de las masas heladas de ambos polos, lo que impactará en la generación de alimentos para la población mundial.

El Cambio Climático actúa acentuando las desigualdades de temperatura y humedad de toda la superficie del planeta Tierra. La pregunta que se formulan los damnificados es ¿esto no se podía prever?; es obvio que la respuesta es afirmativa. Las cantidades de dióxido de carbono y de metano (veinte veces más potente que aquel) presentes en la atmósfera actúan como una trampa para el calor recibido como radiación solar, ya que el calor devuelto hacia el espacio interestelar por la superficie terrestre es parcialmente absorbido en la atmósfera por estos gases y en parte devuelto al planeta Tierra, determinando la temperatura y humedad de aquella. Esto es lo que se denomina “efecto invernadero” por semejanza con lo que ocurre en los recintos de paredes y techo transparentes donde se cultivan en invierno flores, frutas y hortalizas.

El dióxido de carbono es producido por la combustión de hidrocarburos (carbón, destilados del petróleo y gas natural) y el metano por la combustión incompleta de aquellos en los automotores y el escape de las torres de captación de petróleo crudo en los yacimientos. También se emite dióxido de carbono cuando se quema leña, y residuos vegetales de la agroindustria (bagazo, cáscara de semillas de girasol, aserrín de quebracho en las fábricas de tanino, aserrín de madera en el procesamiento de ésta, etc). En general, las chimeneas de los Generadores de Vapor, tanto industriales como de las Centrales Termoeléctricas y los Hornos Industriales de Llama vomitan millones de toneladas de dióxido de carbono, y otro tanto lo hacen los escapes de los automotores, desde motocicletas hasta locomotoras Diesel, pasando por automóviles, ómnibus y camiones; los escapes de aviones, helicópteros y buques. También la demanda doméstica de calor para cocinas, sanitarios y calefacción hace un aporte importante.

El aumento desmedido de los gases de “efecto invernadero” se ha producido (y se sigue produciendo) por el creciente y desenfrenado uso de la energía eléctrica, que crea la demanda alentada por poderosos intereses mayormente petroleros. Parte del dióxido de carbono es captado por la cobertura vegetal de bosques y praderas, por lo que debe considerarse que la tala desmedida de bosques nativos y la roturación de las praderas para el cultivo agrícola, así como los incendios forestales y las prácticas agropecuarias no sustentables como la quemazón de pastizales con fines agropecuarios, generan también gases de efecto invernadero.

La disminución de gases de efecto invernadero por la aplicación de energías renovables y Uso Racional de la Energía posee algunas trabas relacionadas con el orden económico y político, ya que el costo de las obras y equipos necesarios son costosos.

### **Potenciales de las principales energías renovables “limpias” en Argentina.**

Los recursos naturales renovables con que cuenta Argentina cubren casi todas las alternativas del espectro energético renovable, donde las energías “limpias” entre estas se encuentran:

–*Energía Eólica:* Esta energía se considera explotable cuando el viento puntualmente supera la velocidad media de 14 km por hora. Hay numerosas localidades en el Noroeste de Argentina (NOA), la región de Cuyo y Centro, en condición de instalar parques de aerogeneradores eólicos, pero es en la Patagonia donde Gill (2007) relevó un increíble potencial de “buenos vientos” de 300 000 MW. Para captar este potencial se requieren entre 120 000 aparatos aerogeneradores (General Electric, potencia 2.5 MW c/u) o 150 000 (Siemens, potencia 2 MW c/u) al estado actual de la tecnología; estas cantidades son más que suficientes para instalar una fábrica y producirlos en serie, amortizando rápidamente la inversión y abaratando los equipos. En relación con lo

anterior cabe mencionar el importante parque eólico proyectado en Pico Truncado (más de 1000 Mw).

Otro ejemplo es el parque eólico Arauco II, construido en la Provincia de La Rioja, en un parque eólico de 25,6 Mw, parte de un complejo futuro de 100 Mw (Matriz energética, enero 2009).

–*Energía Solar.* Cabe distinguir dos variantes de su aprovechamiento. Una, la conversión directa de la radiación visible mediante paneles de células fotovoltaicas en energía eléctrica (rendimiento máximo 15 %), es viable en grandes y soleadas extensiones, como el Valle de la Luna (Ichigualasto en la provincia de San Juan y Talampaya en la de La Rioja), otras en la provincia de San Luis (Cuyo) y en el NOA.

La otra variante de aprovechamiento es el calentamiento del agua en paneles térmicos (rendimiento hasta el 75 % de toda la radiación solar incidente, 1000 w por metro cuadrado) para uso sanitario y de calefacción, apropiados para instalar en los techos de viviendas familiares y también en grandes edificios de departamentos y oficinas.

No es de menor importancia la provisión de energía para usos electrónicos y también térmicos en pequeñas comunidades aisladas de la Red de energía eléctrica.

–*Energía Hidráulica.* Las represas tenían originalmente como exclusivo objeto el manejo del agua para consumo humano a lo que se agregó después el riego. Con el advenimiento de la hidroelectricidad a principios del siglo XX, la energía hidráulica fue introducida como un subproducto para ayudar a amortizar el costo de las obras. Sin embargo en la actualidad, las represas como Salto Grande, el Chocón y la propia Yacretá tienen como principal objetivo la generación de electricidad.

–*Energía Mareomotriz.* La tecnología de captación de esta forma de energía está todavía en una etapa de experimentación y elaboración, pero el potencial que ofrece el litoral Atlántico argentino es tal que seguramente en un futuro próximo habrá numerosas oportunidades. Hay una incógnita en la Península de Valdés donde existe un istmo de más de 6 km de ancho con una diferencia de 6 m entre pleamar y bajamar.

### **Las demandas de energía en la Argentina**

Los datos sobre la demanda de energía eléctrica en Argentina son incompletos; se acepta que la potencia instalada total es 21000 MW pero cabe agregar la energía importada de Paraguay y Brasil. Lo propio ocurre con el gas natural con la importación de Bolivia y las exportaciones a Chile y Uruguay; se desconoce completamente la distribución por sectores. Una distribución posible es la siguiente:

- Demanda Industrial	28.6 %
- Demanda Doméstica	26.3 %
- Pública y Comercial	13.4 %
- Transporte	13.0 %

El resto a 100.0 % se pierde en la transmisión, distribución y transformadores. Para mitigar los efectos del Cambio Climático se debe apelar a los clásicos dos opuestos; uno es aumentar la oferta de energías renovables “limpias” entre las cuales incluimos la Energía Atómica (porque no aporta ni dióxido de carbono ni metano a la atmósfera). Afortunadamente Argentina posee las capacidades instaladas para ello, ya que dispone de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) quien tiene los recursos humanos



(científicos, tecnólogos y operadores experimentados), y cuenta además con una industria nacional capaz de proveer partes y componentes de sus equipos.

El otro recurso es contraer las demandas, especialmente la doméstica, la pública y la comercial que en conjunto aparecen requiriendo casi el 40 % del total, sea empleando modernas tecnologías (como la iluminación con lámparas de bajo consumo), sea utilizando las recetas clásicas del uso racional de la energía, que nunca fueron aplicadas a las arriba mencionadas demandas; no está de más aclarar que utilizar exclusivamente la contracción de la demanda no es suficiente para mitigar el Cambio Climático.

Es así que ambos recursos se complementan, se potencian.

Es evidente que el uso del petróleo y los hidrocarburos en general no desaparecerán súbitamente sino que habrá un período de transición durante el cual coexistirán con las Energías Renovables “limpias”; las razones para ello son las siguientes:

- a) Sobrevivirá su uso todas las industrias petroquímica mientras la sociedad consume polietileno, PVC, poliuretano, etc.
- b) La incorporación de las Energías Renovables a la producción de electricidad será gradual, ya que ni aún la de más simple instalación, la Eólica, puede ser masivamente instalada. Los proyectos se extienden hasta el año 2030 y las previsiones hasta el año 2050. En los países emergentes la escasez de recursos financieros hacen optimistas estas fechas.
- c) Hasta que los diversos Parques eólicos se conecten en redes (como sucede en la Unión Europea) y su operación sea enteramente confiable, las Centrales Termoeléctrica tendrán la función supletoria para asegurar la estabilidad del sistema. Por ejemplo, en Argentina las autoridades nacionales han autorizado recientemente la adquisición de un turbogruppo a gas de 125 MW de ciclo abierto caracterizado por una rápida entrada en servicio y suministro flexible de energía eléctrica.
- d) En el transporte de pasajeros y cargas los automóviles, camiones y ómnibus urbanos en uso serán lentamente sustituidos por subterráneos y trolebuses o serán equipados para funcionar con hidrógeno obtenido por electrólisis del agua. Los de media y larga distancia serán en partes reemplazados por ferrocarriles de tracción eléctrica, pero en el traslado de los pasajeros y contenedores desde las terminales al lugar de destino serán imprescindibles los automotores. Por otra parte es necesario advertir que los vehículos actuales seguirán en servicio por muchos años.
- e) La demanda doméstica de gas natural para cocinas, calefones, estufas y termotanques en la Ciudad de Buenos Aires y otros grandes centros urbanos de Argentina se mantendrán muchos años y aún soportará una expansión en el corto plazo por la previsible incorporación de nuevos usuarios en el Conurbano. La regulación legal a cargo del Estado deberá ser cuidadosa, consensuada y competente, habida cuenta de los grandes intereses en juego y la natural complejidad de la materia.

La demanda doméstica de energía, la emisión de dióxido de carbono y soluciones para el corto y mediano plazo

Hemos reportado antes que la demanda doméstica alcanza casi un 27% del total de energía producida; en un esfuerzo por mitigar y contener la correspondiente emisión de dióxido de carbono, el gobierno del Reino Unido promulgó el 15 de diciembre de 2006 una ley para viviendas nuevas como de “cero emisión de dióxido equivalente” siendo

este último el que resulta de sumar al producido en la vivienda por combustión de hidrocarburos, el que derraman en promedio las chimeneas de las Centrales Termoeléctricas para producir la energía eléctrica consumida también por la vivienda. La ley consiste en fijar una determinada cantidad de emisión de dióxido de carbono por metro cuadrado de vivienda, y darse como meta su reducción gradual de un 25% para el año 2010, un 44% para el año 2013 arribando al 100% en el año 2016. Con este objeto se aprobó un “Código de Viviendas Sustentables” al que deberían ajustarse las nuevas y como estímulo las eximió del pago de la “STAMP DUTY TAX”, alcanzando tal calidad mediante el aprovechamiento de la luz natural, calefacción y ventilación pasivos y la autogeneración combinada de energía eléctrica y agua caliente para uso sanitario. Como alternativa, el aprovechamiento de la Energía Solar a través de paneles térmicos y/o fotovoltaicos.

Para las viviendas existentes la emisión de dióxido de carbono puede ser objeto de paliativos, como los que propone Ruyssevelt (2008), cuyo esquema se basa en:

- a) Obturación del espacio entre puerta y piso neutralizando el tiraje natural.
- b) Aislamiento térmico de las paredes exteriores.
- c) Intercambiando calor entre el aire de ventilación y el de renovación.
- d) Sustitución del termostato clásico por uno de condensación.
- e) Instalación de un sobretecho a dos aguas (si no lo hay) con aislamiento térmico interior y paneles fotovoltaico y térmico.
- f) Instalación de doble vidrio y cámara intermedia en las ventanas

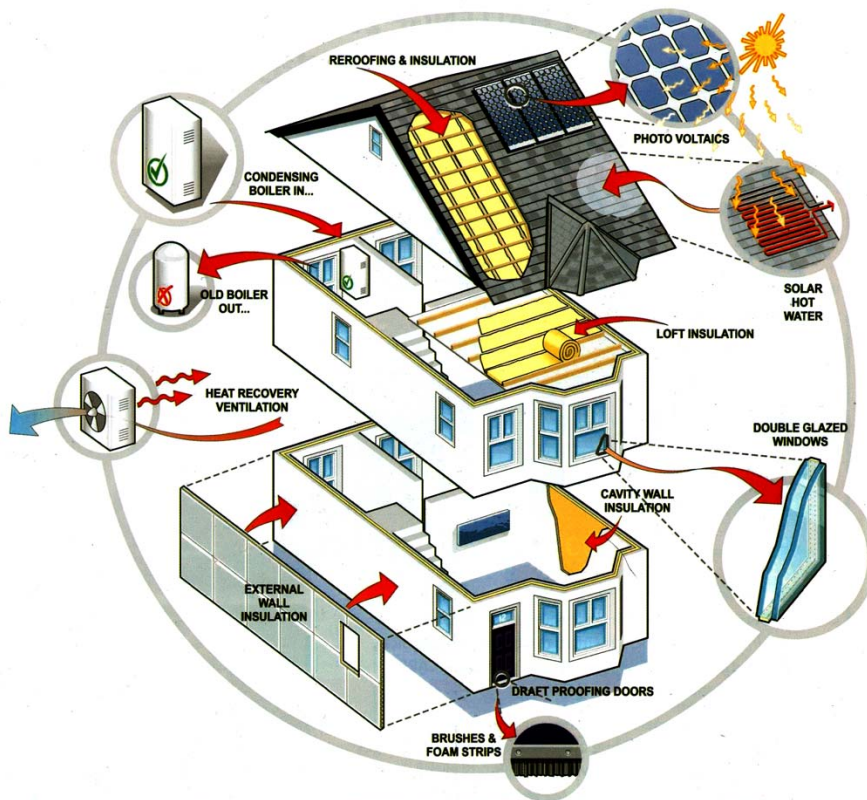
El artículo del Dr. Paul Ruyssevelt (2008) tiene un título de impacto: ¿Sirven para el Siglo XXI nuestras viviendas existentes? Se responde ante todo con una cuestión previa: aunque los objetivos de la ley de los “zero carbon homes” se alcancen, para lo que concierne al Cambio Climático, el reequipamiento de las existentes es un tema que presiona mucho. En efecto, para el año 2050 Ruyssevelt estima que el 80 % de estas estará en pie y habitadas en el Reino Unido (en Argentina el porcentaje posiblemente sea superior). Si bien en el Reino Unido en el año 2050 las “zero carbon homes” evitarán la descarga de un millón de toneladas de dióxido de carbono, esto sólo representará un 6 % de la emisión de ese año, con las consecuencias que tendrá en el Cambio Climático global.

Ésta es una de las razones para promover la disminución de la demanda neta de energía de las viviendas existentes. Hay otras dos: económicamente al ritmo actual de la subida de la temperatura media de la superficie terrestre. el costo del confort será mucho más caro. Por otra parte, socialmente se vislumbra que el reequipamiento puede crear un número significativo de puestos de trabajo, manual e intelectual, y desencadenar la creación de nuevas tecnologías.

Otro especialista, David Strong, en un artículo titulado “Como reducir las emisiones de dióxido de carbono en edificios existentes” (Energy World, febrero 2009), analiza las particularidades del caso de las multiviviendas (y comerciales y públicas) que sintetiza en los diez puntos siguientes:

1º) *La inclusión es más potente que la innovación:* Los propietarios y ocupantes deben ser consultados. De otro modo sentirán como impuesta la tecnología empleada.

2º) *Mire a su alrededor y ubique los puntos que deben ser atacados:* Puede ayudar a hacer uso de las nuevas tecnologías.



Se logra mucho con acciones simples. Ensayadas y probadas (ENERGY WORLD octubre 2008)

3º) *Mantenga su visión en el horizonte:* Enfocar demasiado en lo inmediato puede reducir la posibilidad de mayores mejoras más tarde.

4º) *Actuando conjuntamente tendremos éxito, separados fallaremos:* Una cuidadosa programación de los trabajos de instalación y puesta en marcha por el Estado reduce costos de capital y fomenta el espíritu comunitario.

5º) *De maximizar a minimizar:* En tanto se forma la cápsula de tecnologías de energías “limpias” se puede apelar a consideraciones ecologistas; ellas deben compartir la etapa final de todo proyecto de disminución de la emisión.

6º) *La vida no es sólo paredes y termotanques:* Un ejemplo es volver a áreas de estacionamiento con superficies libres y mejores plazos y precios para que la gente reduzca el uso diario del automóvil.

7º) *Piense más allá de las soluciones inmediatas:* El aislamiento térmico mal utilizado puede impedir a la masa de la pared actuar con su inercia térmica que reduciría el recalentamiento en verano y su ventilación nocturna.

8º) *Recuerde que los edificios antiguos tienen un espíritu muy diferente:* Las formas de construcción y materiales tradicionales permiten con su permeabilidad al vapor absorber y controlar su nivel de humedad.

9º) *El dinero mueve al mundo:* Sin incentivos tales como reembolso de impuestos, préstamos sin intereses y precios de la energía garantizados, las mejoras no pueden ser vistas como parte de una Política de Estado.

10º) *¿Quién apaga la luz?:* Por último, la real performance de los edificios en el mundo muchas veces difiere grandemente de las recomendaciones del modelo, debido a las costumbres del común de la gente. La solución es mantenerla informada al día.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se propone para una Política Energética Nacional los siguientes ítem:

1º) Para recuperar el tiempo perdido se hace necesario planificar la transición desde la antigua matriz energética basada en los hidrocarburos (fuentes no renovables) hacia una nueva matriz energética basada en fuentes renovables “limpias” a tono con los requerimientos del Cambio Climático y las tendencias actuales

2º) Utilizar las alternativas presentes en Argentina para la generación de Energía Eléctrica sin emitir dióxido de carbono, especialmente los más simples, de menores costos y pasibles de ser instalados y puestos en servicio gradualmente (eólicos y solares), de tecnologías probadas.

3º) La futura Política Energética Nacional debe considerar la inserción de Argentina en el contexto internacional definida por los documentos del MERCOSUR, UNASUR, el Grupo de los 20 (G-20) y las Naciones Unidas, en particular sobre el Cambio Climático.

Las conclusiones anteriores se inscribirán en el marco de la política del gobierno nacional: con un crecimiento económico sustentable y una justa distribución de la riqueza, condiciones básicas para la democracia.

## **BIBLIOGRAFÍA**

*www.worldenergy.net/* Energy World, julio/agosto 2007, Página 19

*www.worldenergy.net/*Energy World, International news, abril 2009, Págs. 3 y 4

*www.worldenergy.net/*Energy World, octubre 2007, Páginas 10 y 11

*www.worldenergy.net/* Energy World, octubre 2008, Páginas 10 y 11

*www.worldenergy.net/* Energy World, febrero 2009, Páginas 20 y 21

## **ANEXO. Ilustraciones sobre Energías Renovables “limpias”**



Vista de un parque eólico en Escocia.  
(ENERGY WORLD, junio 2008)



Ensayando fotocélulas solares (ENERGY WORLD diciembre 2008)



Turbinas eólicas verticales e iluminación de día en el techo de un supermercado, cableado de parques eólicos marítimos, paneles térmicos en un edificio de departamentos y un avión liviano accionado por células de combustible (ENERGY WORLD febrero 2009)



**Alternativas para una gestión sostenible,  
la gestión de riesgos y  
el desarrollo sostenible.**





# EVALUACIÓN DE LÍPIDOS EN RESIDUOS DE CAFÉ Y DETERMINACIÓN DE POSIBLES USOS BIOENERGÉTICOS

*Lipids evaluation on waste grounded coffee and determination of bioenergetic uses*

**Leonardo Mariano Paz, Hugo Daniel Chludil, Silvia Rosa Leicach, y Elena Rita Mongelli**

Cátedra de Química de Biomoléculas, Departamento de Biología Aplicada y Alimentos.  
Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453 C417DSE Ciudad de Buenos Aires  
Impaz@agro.uba.ar

## RESUMEN

Ante una creciente demanda de energía y el actual conocimiento de un próximo agotamiento de las reservas fósiles en un corto plazo, surge una eventual necesidad de redescubrir y diseñar proyectos que apunten a generar conocimientos sobre fuentes alternativas de energía más amigables con el medio ambiente.

En el presente trabajo se seleccionó un residuo urbano (borras del café) por ser una materia prima de desecho de las grandes ciudades.

Las determinaciones específicas que realizamos sobre esta materia prima, buscó cuantificar el porcentaje de lípidos del residuo (9 % P/P) mediante extracción continua con equipo Soxhlet y evaluar la calidad del aceite para su posterior transformación química a biodiesel, contribuyendo en diversificar la matriz energética nacional y ayudando a reducir las emisiones de gases responsables del efecto invernadero.

De resultados obtenidos por metodologías en uso y otras novedosas como la transesterificación "in situ" (mínimo uso de solvente orgánico), se obtuvieron las mezclas de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMEs) y analizaron mediante cromatografía gaseosa y espectrometría de masas (CG-EM), determinándose los siguientes porcentajes de ésteres metílicos de los ácidos palmítico (47,3), linoleico (38,9); *cis*-6 petroselínico (7,5) y esteárico (5,2). Por otro lado se determinó que los FAME constituían el 99 % de la muestra analizada. Estos valores son coincidentes con los informados en la bibliografía, por transesterificación convencional.

Estos estudios preliminares sugieren su posible utilidad como alternativa bioenergética respetando el medio ambiente.

**Palabras claves:** Lípidos, residuos, borra de café, bioenergía.

## SUMMARY

According the higher energy demand and the possible exhaustion of fossil sources it is totally necessary to apply new sources and technologies more friendly with the environment that can mitigate the emissions of greenhouse gasses.

The aim in the present work was to determinate the possible uses of coffee ground waste. This kind of urban waste is properly to study its potential uses like feedstock bioenergy.

In order to evaluate the quality for biodiesel production, the lipid quantification by Soxhlet extraction method using ether of petroleum as a solvent, indicated a content of 9 % of oil. According this result an in situ tranesterification was performed. The FAME content by CG-MS showed the following composition of the fatty acids: palmitic acid (47,3 %), linoleic acid (38,9 %); *cis*-6 petroselinic acid (7,5 %) y stearic acid (5,2 %).



On the other hand, a 99% of total FAME content was determined. This result is similar with the reported by others authors for the conventional method of transesterification. Nevertheless, the in situ transesterification could present an environmental advantage in the biodiesel production.

**Key words:** lipids, wastes, grounded coffee, bioenergy.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, se han implementado nuevas tecnologías tendientes a diversificar la producción energética y minimizar la actual dependencia de los carburantes fósiles y de su impacto negativo sobre el medio ambiente y el cambio climático. Debido a la creciente demanda de energía y el actual conocimiento de un próximo agotamiento de las reservas fósiles en un corto plazo, surge una eventual necesidad de redescubrir y diseñar proyectos que apunten a generar conocimientos sobre fuentes alternativas de energía más amigables con el medio ambiente. Por otro lado, se evalúan decenas de residuos que generan diariamente los centros urbanos y algunas industrias, con vistas a su reutilización en algún eslabón productivo o comunitario para minimizar el impacto negativo del mismo dentro de nuestro hábitat.

Los residuos urbanos constituyen una alternativa interesante para evaluar como fuente de biocombustibles. Un ejemplo significativo lo constituyen los aceites comestibles usados para la obtención de biodiesel. Este biocombustible presenta características de relevancia desde el punto de vista ambiental, ya que el biodiésel elaborado con lípidos provenientes de cultivos agrícolas impacta mínimamente el equilibrio del dióxido de carbono atmosférico. A esto se suma la biodegradabilidad del producto, que es de un 90 % en 25 días, y su muy baja toxicidad (300 veces menos que el gasoil). A estas ventajas se adicionan la ausencia de azufre, que contribuye a que se puedan disminuir las emisiones de dióxido de azufre, y las reducciones significativas de componentes aromáticos en los gases de emisión de los motores (Gerpen, 2005; Lamers *et al.*, 2008).

En el presente trabajo se seleccionó un residuo urbano, como lo es el residuo del café, que se obtiene luego de la preparación de la infusión (borras del café). Fue escogida ya que es una materia prima de desecho de las grandes ciudades y por el interés de reutilización del mismo como abono en la agricultura orgánica. Se procedió a cuantificar el porcentaje de lípidos de aceite para su posterior transesterificación *in situ* (Canakei, 2007), para la obtención de los ésteres metílicos de los ácidos grasos o FAME (biodiésel).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Materia prima:**

Se recolectaron residuos de café resultantes de la obtención de la infusión y se conservaron en freezer hasta dicho residuo mediante extracción continua con equipo Soxhlet y a evaluar la calidad del su procesamiento.

### **Extracción del aceite:**

Se secaron 100 g de café en estufa a 105 °C hasta peso constante, la extracción se realizó en equipo Soxhlet usando éter de petróleo como disolvente, durante 16 h. Se calculó el rendimiento en la obtención del aceite.

### **Transesterificación in situ:**

Se secaron 100 g de café en estufa a 105 °C hasta peso constante y se maceraron con 100 ml de metanol durante 24 h. A la mezcla resultante se le agregó 3,8 ml de ácido sulfúrico concentrado y 150 ml de metanol. La misma se calentó a reflujo a 60 °C, bajo agitación, durante 2 h. El producto de la transesterificación se lavó con éter de petróleo, y la fase etérea se lavó con agua destilada hasta neutralidad. Luego se deshidrató con sulfato de sodio anhidro y el solvente se evaporó a presión reducida.

#### **Cromatografía gaseosa:**

Para el análisis de FAME se empleó un cromatógrafo de gases GC 6890N Agilent Technologies acoplado a un espectrómetro de masas MS 5973 (Agilent Technologies Inc). Se utilizó una columna capilar HP-5MS (30 m x 250 µm x 0.25 µm) y helio como gas portador. El programa usado fue: temperatura inicial de 100 °C durante 2 minutos y a partir de ahí un incremento de 5 °C por minuto hasta alcanzar la temperatura final de 270 °C, y luego 15 minutos a dicha temperatura. La temperatura del inyector fue de 250 °C y la del detector de 280 °C.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La extracción del aceite del residuo de café empleando un equipo Soxhlet y éter de petróleo como disolvente, resultó en un 9 % de rendimiento. Este valor es coincidente con el rango de rendimientos informados en la bibliografía (9-15%) y confirma la utilidad de esta materia prima desechada como fuente de obtención de biodiesel.

De acuerdo a este resultado se procedió a la transesterificación in situ del residuo del café empleando ácido sulfúrico como catalizador y metanol como reactivo. Se obtuvieron las mezclas de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) y analizaron mediante cromatografía gaseosa y espectrometría de masas (CG-EM). Se determinó la presencia de los ésteres metílicos de los ácidos palmítico, linoleico, *cis*-6 petroselínico y esteárico, calculándose los porcentajes de los mismos (Tabla 1).

<b>Ácidos grasos</b>	<b>%</b>
<b>C 14 : 0</b>	1,3
<b>C 16 : 0</b>	12,8
<b>C 18 : 0</b>	5,9
<b>C 18 : 1</b>	10,4
<b>C 18 : 2</b>	21,3
<b>C 18 : 3</b>	32,1
<b>Otros</b>	14,8

Tabla 1. Porcentajes de FAME en el residuo del café determinados por CG-MS.

Estos resultados son similares a los informados por Oliveira *et al.* (2008) , excepto para el ácido *cis*-6 petroselínico, el cual es un ácido graso inusual que aparece principalmente en las Umbelíferas Este ácido difiere del ácido oleico, en la posición del doble enlace. Se ha informado su uso para la preparación de diferentes compuestos industriales como surfactantes, detergentes y humectantes (Kim *et al.*, 1996).

Por otro lado se determinó que los FAME constituían el 99 % de la muestra analizada (Figura 1).

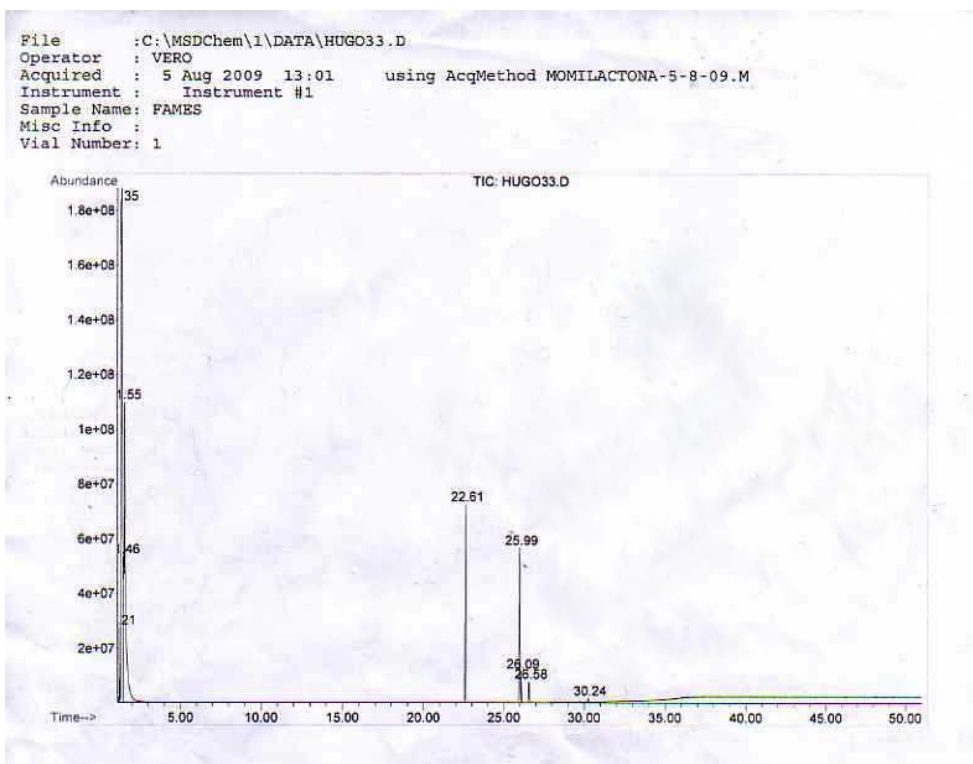


Figura 1. Cromatograma obtenido por CG-MS de los FAME de la muestra de la transesterificación *in situ*.

Estos valores son coincidentes con los informados en bibliografía (Oliveira *et al.*, 2008), por transesterificación convencional del aceite. Sin embargo, la transesterificación *in situ* permite la obtención de FAME sin la extracción previa del aceite, lo que implica un menor uso de solvente y de energía calórica en el proceso de elaboración de biodiésel.

## CONCLUSIONES

El residuo del café representa un desecho urbano de importancia en las grandes ciudades. Dado que el mismo contiene aproximadamente un 10 % de aceite, constituye una fuente interesante y alternativa de lípidos para la producción de biodiésel. El biodiésel presenta varias características ecológicas de interés por ser biodegradable, no inflamable, de baja toxicidad y por su escaso impacto en el equilibrio de CO<sub>2</sub> atmosférico. En este trabajo se procedió a la transesterificación *in situ* del residuo del café, obteniéndose un 99% de FAME. La transesterificación *in situ*, a diferencia de la transesterificación tradicional permite la obtención de FAME sin la extracción previa del aceite, lo que implica un menor uso de solvente y de energía calórica en el proceso de elaboración de biodiesel. Por otro lado, el producto ya transesterificado podría utilizarse en la agricultura peri urbana como mejorador de la fertilidad física del suelo o bien como fuente de materia orgánica, lo que es objeto de futuras investigaciones.

Este estudio sugiere la posibilidad de reciclar el residuo del café y de utilizarlo como una alternativa bioenergética más amigable con el medio ambiente y de menor impacto en el cambio climático.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- CANAKEI, M. 2007. The potential of restaurant waste lipids biodiésel feedstocks. *Bioresource tech.* 98: 183-190.
- GERPEN, M. 2005. Biodiésel processing and production. *Fuel process. tech.* 86: 1097-1107.
- KIM, S.; PARK, M.; BAE, K.; RHEE, M. and LIU, J. 1996. Production of pterostemmaric acid from cells suspension cultures of *Coriandrum sativum*. *Phytochemistry* 42: 1581-1582
- LAMERS, P.; MCCORMICK, K. and HILBERT, J. 2008. The emerging liquid biofuel market in Argentina: Implications for domestic demand and international trade. *Energy Policy* 36: 1479-1490.
- OLIVEIRA, L., FRANCA, A., CAMARGOS, R. and FERRAZ, V. 2008. Coffee oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Bioresourse techn.* 99: 3244-3250.



# GESTIÓN LOCAL DEL RIESGO, ADAPTACIÓN A LA DINÁMICA DEL CLIMA Y PREVENCIÓN DE DESASTRES. EL CASO DE SANTA FE

*Local risk management, climatic dynamic adaptation and disasters prevention.  
The study of Santa Fe city*

Jessica M. Viand<sup>1,3</sup>, A. Calvo<sup>1</sup> y Claudia Natenzon<sup>1,2</sup>

PIRNA, Instituto de Geografía, FFyL, UBA; <sup>2</sup> FLACSO Argentina; <sup>3</sup> CONICET.  
Puán 480, 4º piso, Buenos Aires. Tel 4432-0606 int.169

www.pirna.com.ar.

jesicaviand@yahoo.com.ar, calmir@sinectis.com.ar, natenzon@filo.uba.ar

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es reflexionar sobre los posibles alcances y limitaciones de la incorporación de la gestión del riesgo en ámbitos urbanos, tomando como caso de estudio el riesgo hídrico en la ciudad de Santa Fe, Argentina. En esta ciudad, como consecuencia de la inundación catastrófica del año 2003, comenzaron a implementarse medidas de gestión del riesgo a escala municipal. El desastre del año 2007 provocado por anegamientos debido a fuertes lluvias, nuevamente generó importantes impactos negativos, lo que demostró las dificultades en la ejecución de un plan de prevención y mitigación de desastres.

La gestión de riesgos brinda la posibilidad de estar preparados ante cualquier evento extremo, previniendo la ocurrencia de desastres emergentes tanto de procesos climáticos actuales como futuros. Tomamos estas premisas como punto de partida, reflexionando a partir de investigaciones concluidas y en avance que corresponden al Proyecto UBACYT F108 (2008-2010), la tesis de licenciatura sobre "El antes del desastre. La construcción social del riesgo en la ciudad de Santa Fe y la inundación del año 2003", y la tesis de maestría sobre "Riesgo, catástrofes y gestión pública en el caso de las inundaciones de Santa Fe". Las fuentes de datos utilizadas incluyen prensa escrita, legislación, Censos Nacionales de población y entrevistas a informantes clave realizadas en trabajos de campo. Su procesamiento responde a la aplicación de técnicas cualitativas y cuantitativas propias de las ciencias sociales.

**Palabras clave:** gestión local del riesgo, prevención de desastres, Santa Fe (Argentina).

## ABSTRACT

The aim of this paper is to do a reflective exercise upon the possibilities and difficulties of risk management in urban areas by studying Santa Fe city, Argentina.

After the catastrophic flood occurred 2003 in Santa Fe, started the implementation of local risk management topics, but in 2007 there was a new episode provoked by heavy rain with negative impacts on the city. This last disaster showed the difficulties to apply a mitigation and prevention of disasters plan.

Local risk management gives the possibility of being prepared to prevent any damages caused by actual climatic extreme phenomenon o climatic change in the future. Base on this premise, we make our reflections from concluded and advanced research as it's follows: Project UBACYT F108 (2008-2010), the graduated thesis "Before the disaster. Social risk construction and Salado's flood 2003" and post graduate thesis "Risk,

disasters and public management. The study of floods in Santa Fe city". The methodology attends to qualitative and quantitative sources of social sciences like local newspapers, legal papers, population census, and interviews with key informants.

**Key words:** local management of risk, prevention of disasters, Santa Fe (Argentina).

## INTRODUCCIÓN

Principalmente desde la década del '90, se ha incorporado tanto en ámbitos científico-académicos como organismos internacionales, la idea de la gestión de riesgos como una herramienta que contribuye a la prevención de desastres. Si bien, las propuestas en esta teoría son sostenidas por muchas organizaciones nacionales e internacionales, aún es muy difícil incorporarlas en el ámbito de la gestión pública.

Este trabajo tiene como objetivo reflexionar sobre los posibles alcances y limitaciones de la incorporación de la gestión del riesgo en ámbitos urbanos, tomando como caso de estudio el riesgo hídrico en la ciudad de Santa Fe, Argentina.

En esta ciudad, como consecuencia de la inundación catastrófica del año 2003, comenzaron a implementarse medidas de gestión del riesgo a escala municipal. El nuevo desastre del año 2007, provocado por anegamientos debido a fuertes lluvias, con importantes impactos negativos, mostraron las dificultades en la ejecución de un plan de prevención y mitigación de desastres.

Estas reflexiones se realizan a partir de investigaciones concluidas y en avance que corresponden a: Proyecto UBACYT F108 (2008-2010), la tesis de licenciatura sobre "El antes del desastre. La construcción social del riesgo en la ciudad de Santa Fe y la inundación del año 2003", y la tesis de maestría sobre "Riesgo, catástrofes y gestión pública en el caso de las inundaciones de Santa Fe". Las fuentes de datos utilizadas incluyen prensa escrita, legislación, Censos Nacionales de población y entrevistas a informantes claves realizadas en trabajos de campo. Su procesamiento responde a la aplicación de técnicas cualitativas y cuantitativas propias de las ciencias sociales.

En un primer punto analizamos algunos aspectos teóricos de la cuestión en relación a la definición de riesgo y su gestión, algunas formas de abordar su análisis y su vinculación con los ámbitos urbanos y la dinámica del clima. Luego en el segundo punto hacemos una breve referencia a la situación de riesgo de la ciudad de Santa Fe y la catástrofe del 2003, para luego concluir el trabajo con algunas posibilidades y aspectos limitantes que queremos destacar respecto a la aplicación de la gestión del riesgo.

### **Gestión local del riesgo, adaptación y prevención de desastres**

A fines de la década de los setenta y comienzos de los ochenta, surge una serie de trabajos académicos con un enfoque de estudio sobre los desastres y su gestión que rechaza la hipótesis "tradicional" de que son causados simplemente por fenómenos naturales (Blaikie *et al.*, 1994). Esta perspectiva pone mayor énfasis en las diferentes formas en las cuales opera la sociedad para generar desastres. Esta nueva conceptualización tiene una base social; es un paradigma "alternativo" al tradicional y considera cómo la sociedad construye o crea las condiciones para el desastre. La visión centrada en explicar los desastres desde su causa en los eventos del medio natural. Desde este modo de abordaje, los desastres han sido presentados como eventos "naturales", inesperados e inmanejables frente a los que la sociedad tiene un rol pasivo, impidiéndose al mismo tiempo, tener una acción activa centrada en la prevención. La visión social surge como una crítica al tratamiento tradicional de la problemática y con una mirada hacia la prevención de desastres, dirigiendo su atención hacia los procesos que llevan al desastre en lugar de lo que sucede cuando éste ha ocurrido. En este nuevo

enfoque, los desastres son explicados como situaciones de riesgo previas construidas por la sociedad. Pero, ¿Qué es el riesgo? El riesgo es la probabilidad de que ocurra un evento natural o tecnológico que produzca daño a la sociedad. Se genera y construye a partir de procesos sociales, económicos y políticos anteriores al desastre, y plantea la posibilidad de daños y pérdidas en el futuro. El desastre es entonces la manifestación del riesgo. Estas condiciones se vinculan con el modelo de desarrollo imperante y en muchos casos plantea la estrecha relación entre desarrollo y desastre.

El riesgo se puede analizar en diferentes dimensiones (Tabla 1):

Tabla 1: Dimensiones para el análisis del riesgo. Fuente: Natenzon (1998)

<b>Peligrosidad</b>	Fenómeno físico natural (inundaciones, terremotos, etc.) o tecnológico (Explosiones, derrames químicos, etc.)
<b>Vulnerabilidad</b>	Aspectos sociales, económicos, culturales e institucionales de la población
<b>Exposición</b>	Bienes e infraestructura
<b>Incertidumbre</b>	Técnica y decisiones políticas

La peligrosidad y vulnerabilidad son las dos dimensiones analíticas más utilizadas para el diagnóstico de riesgo. La *peligrosidad o amenaza*, refiere al fenómeno natural o tecnológico con la potencialidad de efectuar daño. Esta característica es valorada socialmente, ya que un fenómeno de la naturaleza se transforma en “amenaza” solamente si un componente de la sociedad está sujeto a posibles daños o pérdidas (Wilches Chau, 1993; Lavell, 2001.). Estos fenómenos naturales de extraordinaria ocurrencia pueden ser previsibles o imprevisibles dependiendo del grado de conocimiento que se tenga sobre su funcionamiento. Cuanto mayor sea el conocimiento que haya sobre el fenómeno, más capacidad habrá para actuar en relación a él (Romero y Maskrey, 1993; Natenzon, 1998).

La *vulnerabilidad* es definida por varios autores como la propensión de una población determinada a sufrir daño y su capacidad para recuperarse luego de los efectos de un desastre (Blaikie *et. al.*, op. cit; Lavell, op.cit; Natenzon, 2003). Esta vulnerabilidad no es una característica absoluta o estática de una población, sino que resulta de un proceso complejo, dinámico y cambiante que determina que tal grupo social quede expuesto o no a la ocurrencia de un desastre o que tenga más o menos posibilidades de anticiparse y recuperarse (Wilches Chau, op.cit.). Refiere a las características sociales, económicas, culturales e institucionales de la población.

Otras dimensiones de análisis posibles son la *exposición* y la *incertidumbre* (Natenzon, 2002). La primera nos permite analizar las cuestiones territoriales, como la planificación, los usos del suelo y la ubicación de la infraestructura pública y privada. Esta dimensión, a diferencia de la vulnerabilidad, se refiere a la localización de la población respecto a la peligrosidad. Por último, la incertidumbre corresponde con todo lo que no puede ser cuantificado, con lo desconocido. Tanto en los fenómenos potencialmente peligrosos como en la situación de vulnerabilidad de la población, hay aspectos que no se conocen completamente. Por lo tanto, esta dimensión tiene que ver



con situaciones que no pueden ser resueltas a partir del conocimiento existente pero que requieren de una solución inmediata por la importancia de los valores en juego – vidas humanas y bienes materiales- (Ibidem).

¿Qué sucede con los *ámbitos urbanos*? Son los escenarios donde el riesgo adquiere mayor complejidad. Esto se debe a la propia dinámica urbana, con sus altos niveles de concentración de infraestructura y población (Mansilla, 2000; Lavell, 2002). Por la impronta de los procesos que en él dominan, un lugar favorable para la construcción de riesgos y la aparición de desastres (Ríos y González, 2008). Su propio crecimiento y las relaciones complejas que se dan en su interior, con la concentración población (con crecientes y variables niveles de vulnerabilidad social), bienes, infraestructura, etc., la hacen el escenario ideal para la generación de riesgos (Ibidem; Mansilla, op.cit).

En Argentina, las inundaciones son la problemática más recurrente en muchas áreas urbanas. Como ejes clave de este conflicto encontramos que éstas suceden como resultado de la falta de planificación; de situaciones sociales de precariedad que llevan a ocupar áreas desvalorizadas económicamente o construcción de infraestructura que afianza la localización en zonas inundables.

Desde la década del '90 a la actualidad, las acciones realizadas frente a los desastres comienzan a abordarse desde un nuevo enfoque denominado como *Gestión del Riesgo*, cuyo objetivo es la reducción, previsión y control del riesgo de desastre en la sociedad. Según el EIRD la Gestión del Riesgo hace referencia al:

*“Conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas, estrategias y fortalecer sus capacidades a fin de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos consecuentes.”* (EIRD, 2004).

En esta perspectiva, las acciones no son un conjunto de instrumentos puntuales ni están planteadas después de ocurrido el evento, sino que implica comprender el proceso social que provoca las condiciones de riesgo e intervenir antes de que se produzca el evento físico natural o tecnológico. Tomar conciencia del riesgo que se enfrenta permite reducir, prever, considerar los recursos disponibles, diseñar estrategias e instrumentos controlando los riesgos existentes.

Las escalas de intervención pueden ser globales, sectoriales y desde lo macro-territorial hasta lo *local*. Es en este nivel territorial donde claramente se puede llevar adelante un conjunto de estrategias, programas y proyectos que permitan la intervención frente a riesgos específicos; donde se posibilita la aplicación de procesos participativos de los diferentes actores sociales y la articulación de las políticas de los demás niveles territoriales, como puede verse esquemáticamente en la Figura 1.

## Actores para gestionar el riesgo

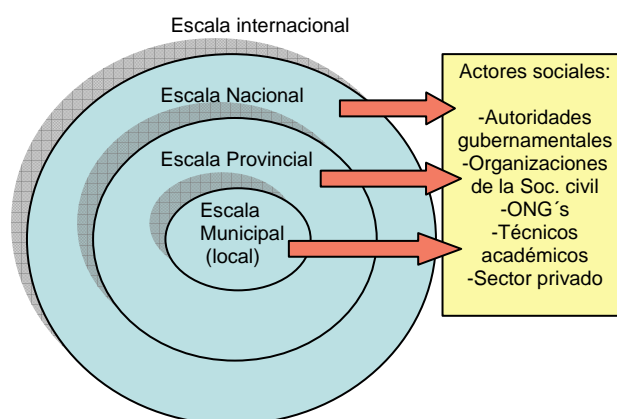


Figura 1: Escalas territoriales y actores sociales en la gestión del riesgo. Fuente: elaboración propia

En base a la revisión de bibliografía perteneciente a la Red Latinoamericana de Desastres y la Estrategia Internacional de Reducción de Desastres (EIRD), para elaborar un plan de Gestión del riesgo es necesario:

-Realizar un diagnóstico de la vulnerabilidad social, con el fin de identificar situaciones de marginación social y económica de la población y así poder contribuir a la delimitación de políticas que permitan su reducción.

-Caracterizar la/s amenaza/s específica/s de ese territorio, a partir del aporte de los institutos de investigación científica, donde no sólo se analice su localización, frecuencia, intensidad, sino también la memoria colectiva de la población sobre ese fenómeno, con el fin de desarrollar sistemas de detección y alerta temprana.

-Elaborar estrategias de comunicación entre los actores civiles e institucionales, desde diferentes organismos del Estado que se ocupan de la gestión, y también en las instituciones gubernamentales con distinta escala de ingerencia (nacional, provincial, municipal), a partir de la estructura institucional, y el nivel de organización con el que se cuenta.

- Trabajar sobre la concientización, capacitación, y educación de la población afectada, teniendo en cuenta a los diferentes actores e intereses, identificando las necesidades y soluciones posibles, y siendo el resultado de procesos participativos de los propios sujetos del riesgo. Es importante que se plantee como una práctica que articule a los actores para actuar integradamente en las dimensiones del riesgo, no como sujetos pasivos receptores de soluciones impuestas desde el gobierno sino a partir de la elaboración de propuestas con la participación de los múltiples actores sociales involucrados. Es este último, el actor que tendría a su cargo el rol central en la implementación de la gestión territorial y por lo tanto también del riesgo.

- Planificar acciones en forma permanente que incluyan: la mitigación, los preparativos ante el impacto del evento físico, la respuesta de emergencia, la rehabilitación y la reconstrucción pos crisis conduciendo en todos estos pasos a la prevención de desastres. Involucrando medidas estructurales como obras de ingeniería (protección de estructuras y de infraestructura) y no estructurales como la planificación urbana, la concientización de la población, los sistemas de alerta temprana para evitar o disminuir el impacto adverso de amenazas naturales o tecnológicas.

En síntesis, la Gestión del Riesgo requiere:

- Reducir, prever y controlar los riesgos existentes y futuros
- Incluir acciones para reducir el riesgo en una planificación del desarrollo
- Intervenir antes que se produzca el evento
- Crear políticas, normas e instrumentos de control legal adecuados
- Disponer de capacidad política para llevar a cabo acciones (negociación y poder de decisión)
- Delimitar niveles de intervención territorial local, regional, nacional e internacional
- Establecer diferentes alternativas y prioridades para reducir el riesgo
- Evaluar los recursos disponibles con los que se cuenta
- Desarrollar estrategias y acciones resolverá realizar
- Tener en cuenta los intereses y necesidades de los diferentes actores sociales y
- Fomentar estructuras organizacionales-institucionales permanentes y consolidadas en el tiempo

*¿Cómo se vincula la gestión del riesgo a la dinámica del clima?*

En la actualidad, los eventos físico naturales que son recurrentes en el tiempo y que se relacionan con variaciones normales del sistema climático, se convierten en una peligrosidad cuyos impactos en las poblaciones pueden producir catástrofes. Esto requiere la elaboración de planes, y llevar adelante acciones en el corto plazo para dar respuesta a estas situaciones.

En este marco la Gestión del Riesgo articula las estrategias de adaptación frente a la variabilidad climática actual o a los cambios que puedan suceder en el futuro, configurando una herramienta central de prevención, mitigación y recuperación para que los decisores políticos y la sociedad civil estén preparados a estos escenarios.

### **Riesgo y gestión en argentina. el caso de la Ciudad de Santa Fe**

La ciudad de Santa Fe es la capital de la provincia homónima y se encuentra ubicada entre el río Salado hacia el oeste, la laguna Setúbal hacia el este, el río Santa Fe e islas hacia el sur y limitando al norte con los municipios de Recreo y Monte Vera. Si bien el análisis se realizó para toda la ciudad, nuestras investigaciones se focalizaron en el sector oeste y sur que corresponde a las áreas que fueron afectadas por la catástrofe del año 2003.

El principal peligro de inundación de la ciudad de Santa Fe son las inundaciones, que pueden deberse tanto a crecidas extraordinarias de los ríos Salado y Paraná como a extremas precipitaciones que provocan el anegamiento de las áreas con cota más bajas. La complejidad de la dinámica hídrica del ambiente físico natural la coloca como una de las ciudades de mayor criticidad hídrica del mundo (ProCIFE, 2005).

Las diferentes políticas de ocupación y las desigualdades sociales en el poblamiento de los barrios del oeste y otras zonas de la ciudad, han llevado a que el proceso de ocupación se transforme en un riesgo, es decir que éste fue y es socialmente construido a lo largo de la historia. Los terrenos del oeste correspondientes a la llanura de inundación del río Salado siempre han sido más bajos e inundables. Estas áreas, debido a sus lotes económicos, eran la opción para sectores socioeconómicos medios para poder adquirir un terreno y construir sus viviendas. Esta ocupación era motivada desde el estado y agentes inmobiliarios (estilo de planificación caracterizada como la cultura de “ganarle tierras al río”), a través del relleno de terrenos y a la construcción de obras de infraestructura para evitar que las crecidas afecten la ciudad. Prácticamente todo su perímetro, a excepción de la zona norte, posee defensas frente a inundaciones.

Este proceso comienza acentuadamente en la década del '30, con la creciente demanda de terrenos generada por las inmigraciones y migraciones internas. El interés por darles valor inmobiliario evitando las recurrentes inundaciones, llevó a la construcción de obras de defensa, afianzando y legitimando de esta manera la ocupación de la zona. Con los años, los episodios de crecidas se iban haciendo cada vez más lejanos y cuando sucedían alcanzaban las zonas aún más bajas cercanas al terraplén del oeste donde los anegamientos eran más frecuentes y fue aquí donde los terrenos no adquirieron valor inmobiliario y se localizaban las familias con menores recursos.

En décadas posteriores y junto con dichas obras, la falta de políticas de ocupación del suelo, la construcción de viviendas por los diferentes planes gubernamentales y la extensión –aunque incompleta– de infraestructura pública, formalizaron la urbanización de gran parte de la ciudad en áreas con peligro de inundación. Aún más preocupante es donde este peligro es muy alto debido a su elevada probabilidad de recurrencia. Como resultado encontramos que en una zona con una importante amenaza de inundación se consolidaba una urbanización formal de sectores medios impulsada por estas medidas y en las zonas más desprotegidas se asentaban sectores bajos de manera informal. Este proceso, de algún modo, aunque simplificado, puede reflejarse en la Figura 2 cuyo significado se explicará en los próximos párrafos.

En las últimas décadas, principalmente desde fines de los '80, con las sucesivas crisis de las economías regionales, cierre de fábricas, comercios y empresas, ha crecido el desempleo y en consecuencia se ha deteriorado la capacidad adquisitiva de sectores socioeconómicos medios y los beneficios sociales del trabajo formal. Los sectores socioeconómicos bajos, que se han visto excluidos del mercado laboral formal, en muchos casos dependen de subsidios del Estado, contribuciones de algunas ONGs y/o la adaptación de sus medios de vida a actividades como el cirujeo, cartoneo (juntar cartones, papeles, etc. para venderlos) y/o cría de algunos animales de granja para poder subsistir. De esta manera, las diferencias sociales en el sector oeste se han acentuado, engrosando un cordón con gran cantidad de población en situación de pobreza estructural, deficiencia de servicios básicos sanitarios, falta de atención en salud, analfabetismo y, como consecuencia, problemáticas como la desnutrición infantil y enfermedades por la mala calidad de vida.

Tomando un diagnóstico de la peligrosidad del río Salado, en 1992 se realizan los estudios para determinar las zonas con peligro de inundación en la ciudad a pedido del Gobierno Provincial. Su finalidad fue la de ser una herramienta para diseñar una normativa adecuada “imponiendo restricciones al dominio de las tierras sin las incertidumbres de la actual legislación” (INCyTH, 1992:1). Al analizar el reglamento de zonificación hacia el año 2003, se observó que esto no fue reglamentado en el municipio.

En cuanto a la vulnerabilidad social, siguiendo la metodología propuesta por Natenzon *et. al.* (1998) y (2005), se seleccionaron indicadores demográficos, económicos y de calidad de vida disponibles en el CNPyV 2001 (Censo Nacional de Población y Vivienda) con la finalidad de sintetizarlos en tres subíndices correspondientes a cada una de estas dimensiones y en un índice de vulnerabilidad social final. Cada indicador da cuenta de aspectos significativos que hacen a la complejidad social, tales como estructura de la población, situación económica, salud, condiciones de infraestructura de servicios y condicionantes de género o por nivel educativo. Los indicadores seleccionados son los siguientes:

### *Demográficos*

1. Población de menores o iguales de 14 años
2. Población de mayores o igual de 65 años
3. Hogares con jefatura femenina

### *Económicos*

4. Población sin cobertura de salud: obra social y/o plan de salud privado o mutual.
5. Población de 10 años o más analfabeta
6. Jefe de hogar desocupado

### *Calidad de Vida*

7. Población en hogares con necesidades básicas insatisfechas ( NBI)
8. Población sin acceso a agua de red al interior de la vivienda
9. Población en viviendas sin conexión a cloacas

(Nota: La escala utilizada para el análisis corresponde a la de mayor desagregación disponible de datos y con menor probabilidad de errores en la disposición de los datos que obtiene el censo: el *radio censal*).

Con el índice de vulnerabilidad se trata de evidenciar las condiciones socio económicas en la “normalidad” y como éstas influyeron en la situación de emergencia en el desastre y luego en la capacidad para la rehabilitación/reconstrucción. Se pretende comprender estas posibilidades y capacidades en las heterogeneidades sociales presentes.

Este análisis sintético del riesgo, con el cruce entre peligro de inundación y vulnerabilidad social se presenta en la Figura 2 a continuación:

Como resultado, podemos observar que la población con más altos niveles de vulnerabilidad social se encuentra en las áreas de mayor peligro de inundación, pero también es posible encontrar niveles medios, lo que muestra la diferencia en los procesos de poblamiento anteriormente mencionados. A modo de síntesis, en la ciudad de Santa Fe, el peor escenario estaba presente (Alta peligrosidad, Más alta vulnerabilidad social), configurando socio territorialmente un alto riesgo de desastres.

### *¿Qué paso en el año 2003?*

El río Salado inundó prácticamente dos tercios de la ciudad al ingresar el agua a través de una defensa incompleta en el sector norte y al encontrar bloqueado su paso por una luz insuficiente del puente AUFE (Autopista Rosario-Santa Fe). El 22 % de la población se vio afectada, 23 personas murieron en el momento y se denuncia la muerte de 130 por causas indirectas; 27.928 viviendas afectadas y pérdidas económicas de más de 200 millones de pesos (CEPAL, 2003; MEDH, 2005).

La crecida del 2003 superó a todas las anteriores y por eso fue considerada extraordinaria. Sin embargo, el efecto de la amenaza natural se vio amplificada por las diferentes obras de infraestructura, transformándose en una amenaza social. El fenómeno de inundación lenta de un río de llanura pasó a ser una crecida de tipo rápida de montaña, con las consecuencias que esto conlleva en las posibilidades de tiempo para la evacuación de la población.