

# COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS DE REDUCCIÓN A ESCALA PARA LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2020sY 2050s: ESTUDIO DE CASO VALLE DE MEXICALI, B.C., MÉXICO

Adriana CAMARGO BRAVO <sup>1</sup>, Rafael O. GARCÍA CUETO <sup>1</sup>  
<sup>1</sup> *Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California*  
*Mexicali, B.C., México*  
adriana.camargo@prodigy.net.mx, rafaelcueto@uabc.mx

## RESUMEN

Para cuantificar los impactos relacionados a variaciones climáticas, previamente debemos lograr la generación de series climáticas de futuros potenciales para la zona de estudio (Valle de Mexicali, Baja California, México), afectando las estadísticas que describen el clima local con los cambios derivados de los modelos globales. A fin de regionalizar los datos producidos por el Modelo Global se aplicó y comparó dos técnicas de reducción de escala, un Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico (GETM), el LARS WG y el SDSM (Statistical DownScaling Method), encontrando diferencias importantes entre ellos de hasta 1°C con el escenario comparado A2, así como entre las climatologías 2020S y 2050S obtenidas con el SDSM para este mismo escenario.

Palabras clave: Reducción a escala, Cambio Climático, Valle de Mexicali, LARS-WG, SDSM.

## ABSTRACT

Before quantifying the impacts related to climate variations, we must generate climate series of future potentials for the zone of study (Mexicali's Valley, Mexico), affecting the statistics that describe the local climate with the changes derived from the global circulation models (MCG's). In order to regionalize the information produced by the MCG's we utilized and we compared two methods of reduction scale, the LARS-WG a Stochastic Generator of Meteorological Time (SGMT), and the SDSM (Statistical Downscaling Method). We found important differences between them of up to 1°C with A2 socioeconomic scenario, as well as between the 2020s and 2050s climatologies obtained with the SDSM for the same socioeconomic scenario.

Key words: Downscaling, Climate Change, Valle de Mexicali, LARS-WG, SDSM.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe gran confianza en que el incremento de las concentraciones atmosféricas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producirá cambios en el clima global, particularmente incrementos en la temperatura. Sin embargo la estimación de cómo el aumento de temperatura global se reflejara en cambios a nivel regional es incierto. Los escenarios regionales

presentados en el Cuarto Informe de Evaluación sobre Cambio Climático (SOLOMON *et al.*, 2007), se centran en proyecciones de temperatura y precipitación, pero el concepto regional se refiere a extensiones de nivel casi continental y con tal resolución espacial es difícil pasar a la definición de acciones de adaptación para una cuenca o ecosistema particular. Los Modelos de Circulación General de la Atmósfera (GCMs, por sus siglas en inglés), representan el intento más sofisticado de simulación del sistema climático global. Cuando se utilizan para cuantificar la respuesta futura del clima a perturbaciones inducidas por actividades humanas, se tiene que pensar en proyecciones o escenarios (una forma de pensar el futuro a través de varias hipótesis de cambio climático) de las diferentes concentraciones de GEI y aerosoles que se utilizan para perturbar el sistema y analizar como responde a esos cambios. Los diferentes escenarios de emisión, corresponden a una variedad de hipótesis socioeconómicas que son consideradas como las fuerzas impulsoras en la producción de las emisiones futuras.

Las técnicas de reducción a escala se han desarrollado como puentes entre los resultados obtenidos con modelos de circulación general (GCMs) de baja resolución espacial, y aquellos que analizan los potenciales impactos del cambio climático a nivel local. Se pueden dividir en: 1) modelos dinámicos de clima regional como el SDSM, y 2) modelos estadísticos como el LARS WG. En la reducción a escala, las salidas de GCMs constituyen un campo base que no necesariamente refleja los procesos de meso escala menores a 300 km<sup>2</sup>, por lo que se deben encontrar esquemas que distingan el efecto de estos últimos en el clima local. Por ejemplo, barreras orográficas o contrastes de uso de suelo no distinguibles en el GCM pueden tener efectos sobre los patrones de temperatura o precipitación a escala local.

Como la idea es cuantificar impactos relacionados a variaciones climáticas de temperatura máxima (T<sub>máx</sub>) y temperatura mínima (T<sub>mín</sub>), previamente debemos lograr la generación de series climáticas de futuros potenciales para la zona de estudio (Valle de Mexicali, Baja California, México), afectando las estadísticas que describen el clima local con los cambios derivados de los GCMs; de aquí que el objetivo de este trabajo es generar y comparar escenarios de T<sub>máx</sub> y T<sub>mín</sub> bajo cambio climático, entre dos herramientas de escalamiento espacial el LARS-WG y el SDSM, pues de ellos depende la dirección que se tome en el proceso de adaptación.

## **2. BASE DE DATOS Y ÁREA DE ESTUDIO**

El Valle de Mexicali está localizado entre los 114° 45' a 115° 40' longitud y 31° 40' a 32° 40' de latitud norte (Figura 1). Limitado al norte por el estado de California, Estados Unidos, al sur y sureste por el Golfo de California y la sierra de las Pintas, al este por el estado de Arizona, Estados Unidos, y la mesa arenosa de San Luis Río Colorado, Sonora. Como parte de este valle se encuentra la región agrícola y está integrada por dos áreas: la Zona de Baja California que corresponde al municipio de Mexicali y la zona de Sonora que forma parte del municipio de San Luis río Colorado (SÁNCHEZ, 2005). Se recopiló en forma digital los datos diarios de T<sub>máx</sub> y T<sub>mín</sub> de la base de datos climática ERIC III y se seleccionaron 4 estaciones (Tabla 1) que cumplieron el control de calidad para el periodo base 1961-1990.

## **3. METODOLOGÍA**

La estrategia que se siguió para cada una de las estaciones seleccionadas a fin de regionalizar los datos producidos por el GCM consistió en generar escenarios futuros de T<sub>mín</sub> y T<sub>máx</sub>,

utilizando dos técnicas de reducción a escala el LARS WG y el SDSM. Se consideró como periodo actual los datos diarios de  $T_{mín}$  y  $T_{máx}$  1961-1990 y se integraron las proyecciones considerando periodos de 30 años, con lo cual se obtuvieron dos climatologías, la de los 2020s (periodo 2010-2039) y 2050s (periodo 2040-2069).

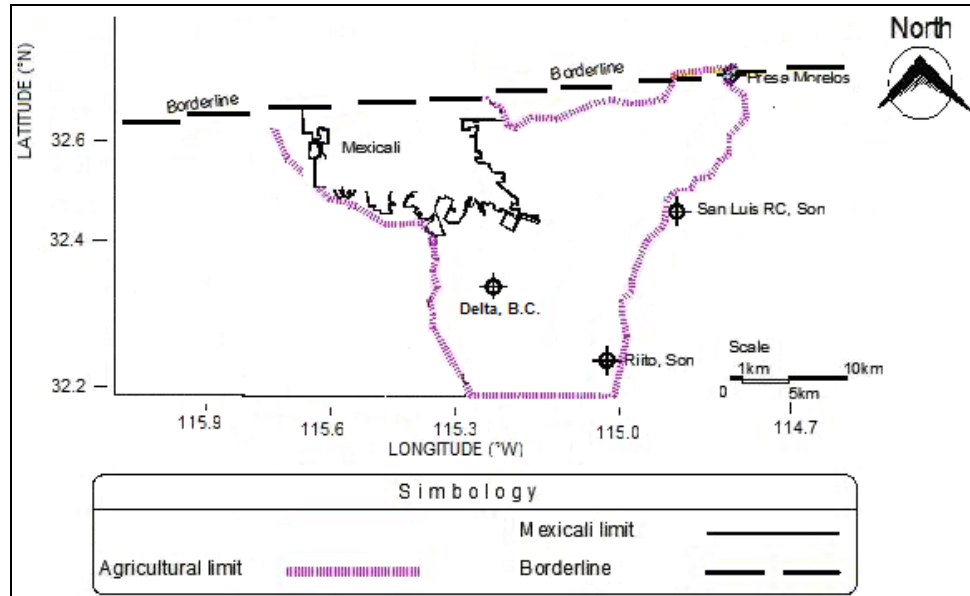


Fig. 1: Mapa de ubicación del Valle de Mexicali y las estaciones climáticas.

Estación	Municipio, Estado	Longitud(W)	Latitud(N)	Altitud(msnm)
Delta	Mexicali, Baja California	-115.19°	32.35°	13 m
Presa Morelos	Mexicali, Baja California	-114.73°	32.70°	28 m
Ríto	San Luis río Colorado, Sonora	-114.99°	32.19°	13 m
San Luis Río Colorado	San Luis río Colorado, Sonora	-114.78°	32.48°	26 m

Tabla 1: ESTACIONES CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO

### 3. 1. Lars WG

El LARS WG tiene la habilidad de producir series sintéticas a escala diaria con las mismas características estadísticas de la serie real de la estación; supone que las correlaciones estadísticas entre las variables del clima derivadas de datos observados, son válidas bajo una suposición de cambio en el clima según SEMENOV y BARROW (1997). Los tipos de datos y los pasos seguidos son:

Datos observados diarios (1961-1990): La información en los archivos de datos está organizada en columnas según el formato requerido: Año, día juliano,  $T_{mín}$  (°C) y  $T_{máx}$  (°C).

Datos de escenarios mensuales: Son los datos de los escenarios regionales de cambio climático generados para México en el trabajo realizado por ZERMEÑO (2008) y aplicado por MAGAÑA (2010). Los archivos contienen datos de cambios relativos de temperatura mensuales (Enero a Diciembre) para cada punto de una malla de 50 km X 50 km.

Generación de muestras diarias bajo escenarios de cambio climático: En el primer paso se calibró el modelo analizando los datos observados diarios para determinar sus características estadísticas. En el segundo paso se validó mediante pruebas estadísticas y se verificó si las series generadas provienen de la misma población. Finalmente se generaron las muestras diarias (100 años) bajo cambio climático y se partió de considerar los parámetros estadísticos que se obtuvieron de los datos medidos y se introdujo el archivo de datos de escenarios mensuales según la celda del modelo global a la cual pertenece la estación. Finalmente el generador LARS WG construyó las series sintéticas futuras afectadas por los índices del escenario A1B y A2, para los periodos 2010-2039 y 2040-2069.

### **3. 2. SDSM**

El método de regionalización estadístico SDSM (WILBY *et al.*, 2002) se basa en la regresión lineal. Este método establece relaciones empíricas entre predictandos a escala local (temperaturas, precipitación, etc.) y predictores de escala regional extraídos de los modelos de circulación general. Es un método empírico cuya obtención de proyecciones climáticas futuras conlleva una serie de hipótesis entre las que se encuentra que el modelo paramétrico ajustado tenga validez bajo condiciones futuras de cambio climático. Los tipos de datos y la aplicación del método SDSM se describen enseguida:

Datos observados diarios (1961-1990): La información en los archivos de datos está organizada en una columna según el formato requerido: Tmín (°C) o Tmáx (°C).

Datos de predictores: Son datos de variables predictoras tanto de salidas directas del modelo como de campos derivados obtenidos a partir de los datos del modelo. Sus valores se han extraído del re-análisis NCEP/NCAR (KALNAY *et al.*, 1996).

Datos de escenarios de cambio climático: Son datos de las variables predictoras del modelo de circulación general HadCM3 utilizado para realizar las proyecciones de cambio climático.

Los datos predictores y los datos de escenarios de cambio climático se obtuvieron de la página web <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/sdsm/select.cgi> (CCIS, 2010), del punto de rejilla (2.5° latitud por 3.75° de longitud) más próximo a la zona de estudio.

Generación de escenarios de cambio climático: Primero se analizaron los 26 predictores disponibles en el archivo datos predictores, se seleccionó el subconjunto que mostró el mejor ajuste evaluado a partir del coeficiente de determinación. 5 predictores fueron elegidos: 1) Presión media a nivel del mar, 2) Velocidad potencial a 500 h Pa, 3) Altura geopotencial a 500 h Pa, 4) Humedad relativa superficial y 5) Humedad específica superficial. En segundo lugar se obtuvo el modelo de regresión no condicional que supone una relación directa entre el predictando y los predictores, el modelo se calibró con los datos observados correspondientes al período 1961-1975. En tercer lugar el modelo obtenido se validó con los datos observados en el período 1976-1990 y finalmente se generaron los escenarios futuros A2 desde el año 2010 hasta el año 2099.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Tomando como referencia los valores de la línea base 1961-1990, los incrementos de temperatura media Tmín y Tmáx para la zona de estudio se listan en la Tabla 2.

De acuerdo a las proyecciones generadas con LARS WG, para el escenario A2 en el periodo 2010-2039 se observa un incremento de Tmín de entre 0.85°C y 1.20°C, mientras que para el periodo 2040-2069 entre 1.67 y 1.81. En cuanto a Tmáx se tiene un incremento entre 0.92°C y 1.08°C; y entre 1.53 y 1.73, para ambos periodos respectivamente.

ESTACIÓN DELTA, MEXICALI, B.C.										
Modelo	Escenario	Periodo	Tmáx °C				Tmín °C			
			Media	Delta	Mín.	Máx.	Media	Delta	Mín.	Máx.
OBSERVADA		1961-1990	32.24		5.00	50.00	14.35		-3.00	32.50
L-WG	A2	2010-2039	33.23	0.99	5.30	51.10	15.56	1.20	-2.20	32.90
L-WG	A2	2040-2069	33.89	1.65	5.90	52.00	16.17	1.81	-1.70	33.70
L-WG	A1B	2010-2039	33.30	1.06	5.90	51.30	15.59	1.23	-2.20	33.40
L-WG	A1B	2040-2069	34.03	1.79	4.80	52.70	16.34	1.99	-2.30	34.30
SDSM	A2	2010-2039	34.12	1.88	4.86	55.81	14.95	0.60	-5.34	36.53
SDSM	A2	2040-2069	35.21	2.97	5.59	58.43	15.95	1.60	-4.83	43.57
ESTACIÓN PRESA MORELOS, MEXICALI, B.C.										
Modelo	Escenario	Periodo	Tmáx °C				Tmín °C			
			Media	Delta	Mín.	Máx.	Media	Delta	Mín.	Máx.
OBSERVADA		1961-1990	30.02		7.00	50.00	13.70		-5.00	31.00
L-WG	A2	2010-2039	31.02	1.00	9.40	51.30	14.74	1.05	-1.40	31.90
L-WG	A2	2040-2069	31.62	1.60	9.40	52.30	15.37	1.67	-0.90	33.10
L-WG	A1B	2010-2039	31.03	1.01	9.30	51.30	14.79	1.09	-1.50	32.10
L-WG	A1B	2040-2069	31.69	1.67	9.80	52.20	15.49	1.79	-0.70	33.10
SDSM	A2	2010-2039	31.56	1.54	6.32	58.19	14.85	1.15	-3.34	35.11
SDSM	A2	2040-2069	32.63	2.61	6.18	60.68	15.7	2.00	-5.55	42.64
ESTACIÓN RÍTO, SONORA										
Modelo	Escenario	Periodo	Tmáx °C				Tmín °C			
			Media	Delta	Mín.	Máx.	Media	Delta	Mín.	Máx.
OBSERVADA		1961-1990	30.32		2.00	49.00	12.29		-6.00	35.00
L-WG	A2	2010-2039	31.24	0.92	4.80	49.10	13.14	0.85	-5.40	36.00
L-WG	A2	2040-2069	31.85	1.53	3.80	49.90	13.91	1.62	-5.30	35.50
L-WG	A1B	2010-2039	31.30	0.98	4.00	49.10	13.35	1.06	-5.20	34.50
L-WG	A1B	2040-2069	32.03	1.71	3.80	50.10	14.09	1.80	-5.30	35.60
SDSM	A2	2010-2039	31.86	1.54	5.15	51.90	13.04	0.75	-9.50	35.71
SDSM	A2	2040-2069	32.90	2.58	5.51	54.20	14.12	1.83	-8.50	40.18
ESTACIÓN SAN LUIS RÍO COLORADO, SONORA										
Modelo	Escenario	Periodo	Tmáx °C				Tmín °C			
			Media	Delta	Mín.	Máx.	Media	Delta	Mín.	Máx.
OBSERVADA		1961-1990	31.88		6.00	50.00	13.18		-5.00	36.00
L-WG	A2	2010-2039	32.96	1.08	6.30	51.20	14.34	1.16	-5.10	32.20
L-WG	A2	2040-2069	33.60	1.73	6.30	52.00	14.98	1.80	-5.00	33.10
L-WG	A1B	2010-2039	33.01	1.14	6.30	51.10	14.40	1.22	-5.10	32.30
L-WG	A1B	2040-2069	33.73	1.86	6.30	52.20	15.11	1.93	-5.00	33.20
SDSM	A2	2010-2039	34.04	2.16	7.60	56.97	13.96	0.78	-10.90	36.84
SDSM	A2	2040-2069	35.00	3.12	8.36	58.41	14.95	1.77	-9.98	38.95

Tabla 2: ESCENARIO DE TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA BAJO CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL VALLE DE MEXICALI

Para el escenario A1B se encuentran incrementos para  $T_{mín}$  que oscilan entre  $1.06^{\circ}\text{C}$  y  $1.23^{\circ}\text{C}$  para el periodo 2010-2039 y entre  $1.80^{\circ}\text{C}$  y  $1.99^{\circ}\text{C}$  para el periodo 2040-2069, de forma análoga a estos periodos, para  $T_{máx}$  se registran incrementos de entre  $0.98^{\circ}\text{C}$  y  $1.14^{\circ}\text{C}$  y entre  $1.67^{\circ}\text{C}$  y  $1.86^{\circ}\text{C}$ .

Respecto al SDSM para el escenario de cambio climático A2, en el periodo 2010-2039 se registro un incremento de  $T_{mín}$  entre  $0.6^{\circ}\text{C}$  y  $1.15^{\circ}\text{C}$ , para  $T_{máx}$  entre  $1.54^{\circ}\text{C}$  y  $2.16^{\circ}\text{C}$ . Para el periodo 2040-2069 se encontró un aumento de  $T_{mín}$  entre  $1.6^{\circ}\text{C}$  y  $2^{\circ}\text{C}$ , y para  $T_{máx}$  entre  $2.58^{\circ}\text{C}$  y  $3.12^{\circ}\text{C}$ .

Según estos resultados podemos destacar que para los escenarios generados por LARS-WG, encontramos un incremento de las temperaturas medias en ambos períodos considerados, estos incrementos se acentúan en el periodo 2040-2069, observando un mayor calentamiento en el escenario A1B pero en el orden de centésimas y algunas décimas, a diferencia del SDSM que registra aumentos casi de un grado para este último periodo para el escenario A2. Las diferencias encontradas entre escenarios pueden deberse a que aunque el escenario A2 corresponde a una evolución de emisiones de GEI más creciente que el A1B y ambos tienen una orientación hacia el desarrollo económico, este último tiene una orientación más mundial que conlleva a una mayor demanda de recursos y servicios.

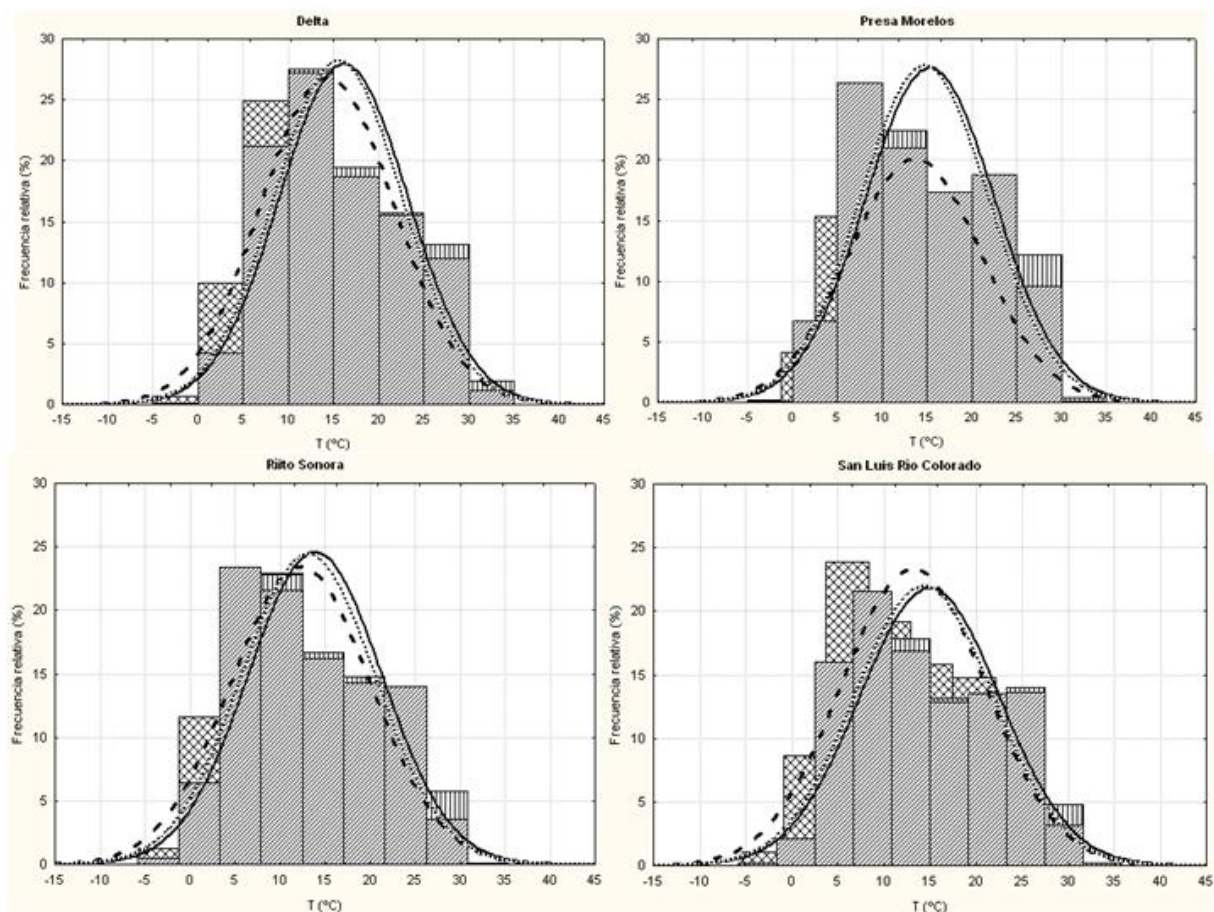


Fig. 2: PDF de  $T_{mín}$  diaria observada (línea punteada gruesa) para el Valle de Mexicali, en el periodo 1961-1990, y proyectada usando el esquema LARS y el escenario A2 regionalizado hacia el periodo 2010-2039 (línea punteada delgada) y el periodo 2040-2069 (línea continua).

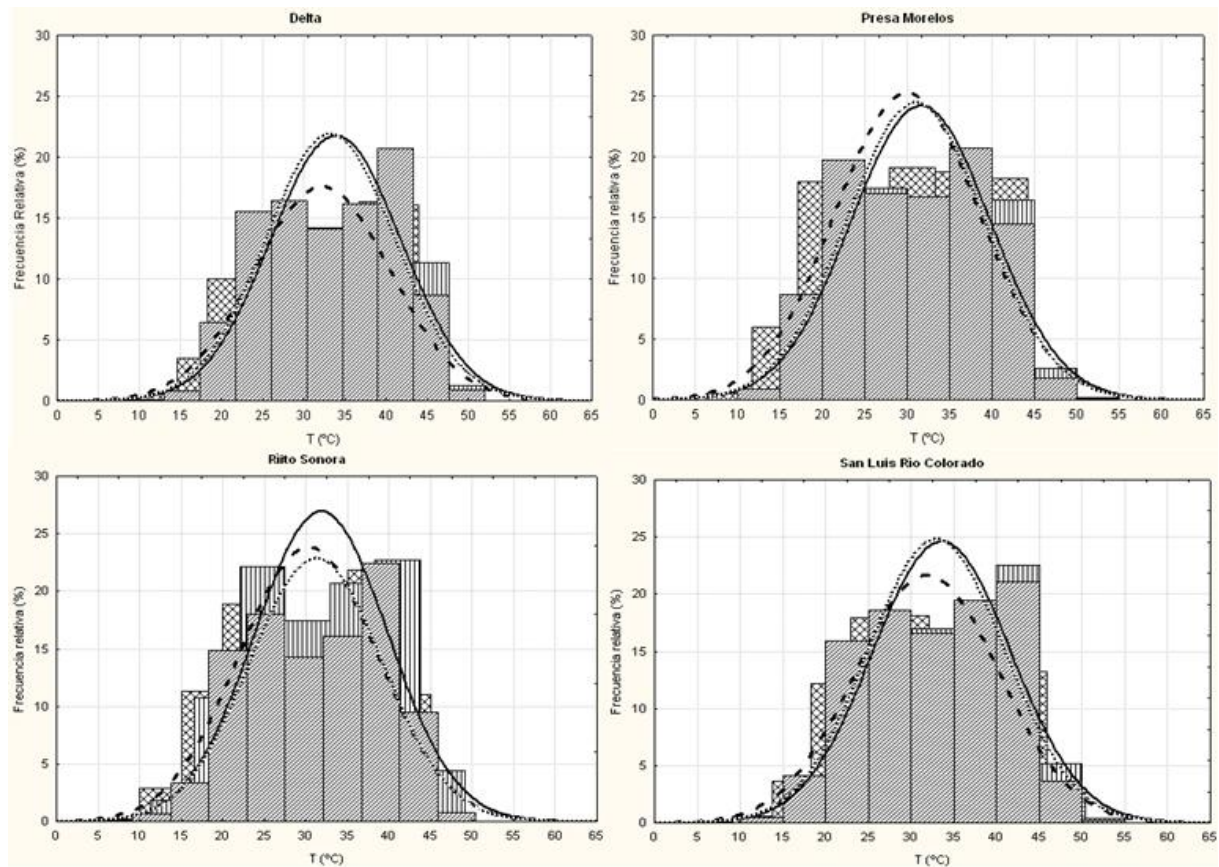


Fig. 3: PDF de  $T_{máx}$  diaria observada (línea punteada gruesa) para el Valle de Mexicali, en el periodo 1961-1990, y proyectada usando el esquema LARS y el escenario A2 regionalizado hacia el periodo 2010-2039 (línea punteada delgada) y el periodo 2040-2069 (línea continua).

Si consideramos al clima como una Función de Densidad de Probabilidades (PDF) de valores diarios, el cambio climático involucra cambios en la media, pero también en la variabilidad y los valores extremos (Figura 2 y 3). Si analizamos las PDFs de  $T_{máx}$ , el área bajo la curva de temperatura entre 45 y 50°C aumentará en promedio respecto al periodo actual de un 1.61 a un 4.11% y arriba de 50°C de 0 a un 0.23%. En tanto para  $T_{mín}$  se proyecta el área bajo la curva de temperatura entre 25 y 30°C de un 6.3 a un 12% y por encima de 30°C, de un 0.6 a un 1.04%. Podemos observar que el desplazamiento del clima es básicamente hacia la derecha, es decir que los extremos de temperatura serán más frecuentes hacia temperaturas más cálidas.

En la tabla 3 se muestra una comparación entre los incrementos de temperatura obtenidos por ambas técnicas de reducción a escala calculando su diferencia para el escenario A2. Se encontró que para el periodo 2010-2039 la  $T_{mín}$  tiene una diferencia en el rango de -1.08°C a -0.89°C, mientras que para el periodo 2040-2069 es de -1.4°C a -1.01°C, para  $T_{máx}$  en los mismos periodos se tiene un delta de -0.11°C a 0.61°C y de -0.33°C a 0.22°C, respectivamente. El valor negativo expresa que el SDSM genera mayores incrementos de temperatura que LARS-WG. Como se observa, la diferencia absoluta va del orden de 1°C aproximadamente.

Periodo con el escenario A2	Diferencia de T (°C) (LARS WG) – (SDSM)							
	Delta		Presa Morelos		Ríto		San Luis Río Colorado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
2010-2039	-0.89	0.61	-0.54	-0.11	-0.62	0.10	-1.08	0.38
2040-2069	-1.32	0.22	-1.01	-0.33	-1.05	-0.21	-1.4	0.03

Tabla 3: DIFERENCIA DE TEMPERATURA BAJO CAMBIO CLIMÁTICO, ENTRE LAS DOS TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE ESCALA UTILIZADAS, LARS-WG Y SDSM

Básicamente la diferencia radica en que para un periodo y escenario correspondiente LARS WG genera 100 experimentos de datos diarios de un año típico que aseguran estabilidad a las estadísticas y robustez a los resultados (SEMENOV *et al.*, 1998 y 1999), y se parte de escenarios regionalizados de 50 km por 50 km construidos con la Herramienta de Predicibilidad del Clima (CPT, por sus siglas en inglés) y comparables a algunos de los escenarios producidos usando modelos dinámicos de meso escala, por lo que se logra capturar en buena medida, el efecto de circulaciones regionales que producen en estas escalas espaciales una mejor resolución que la obtenida con el SDSM con una medida de rejilla mucho mayor (2.5° latitud por 3.75° de longitud) y con el cual se generó una muestra del periodo de 30 años con 20 experimentos, además de que parte directamente de la perturbación de las salidas a gran escala de un solo CGM el HadCM3.

## 5. CONCLUSIONES

Para estimar impactos del cambio climático en regiones, sectores o grupos sociales, es necesario reducir la escala de la información con la que generalmente trabajan los GCMs, mediante un proceso conocido como reducción a escala.

Se encontraron diferencias importantes entre las dos técnicas de reducción a escala utilizadas para generar los escenarios de cambio climático para temperatura, LARS WG y SDSM, cercano a 1°C, sin embargo coinciden en diferencias entre periodos, siendo más significativas para el SDSM de aproximadamente 1°C.

De acuerdo a los escenarios generados con LARS WG para las dos familias utilizadas A2 y A1B, y en base al análisis de PDF se espera un aumento en la temperatura media tanto máxima como mínima, para las climatologías analizadas 2020s y 2050s, además de cambio en los extremos, registrándose un aumento en las temperaturas mínimas y máximas, así como en su frecuencia.

Se ha logrado con este primer trabajo construir marcos de referencia climáticos a fin de poder cuantificar y analizar posteriormente, cuales podrían ser las situaciones potenciales de impactos de esos cambios sobre los cultivos de la zona, ya que los escenarios de cambio climático locales para el Valle de Mexicali son fuente de información para analizar el impacto en sistemas humanos y naturales bajo diversas proyecciones en términos de probabilidades.



## 6. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al sistema CONACYT el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo y a la CONAGUA por las facilidades concedidas en la obtención de la información climatológica.

## 7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- CCIS (2010). Canadian Climate Impacts Scenarios On-Line: <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/sdsm/select.cgi>
- KALNAY, E. *et al.* (1996): The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bolletín American Meteorological*.
- MAGAÑA, O.V., (2010). Instituto Nacional de Ecología. Guía para Generar y Aplicar Escenarios Probabilísticos Regionales de Cambio Climático en la Toma de Decisiones On-Line: <http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios>
- SÁNCHEZ, L.E. (2005). *Desarrollo y medio ambiente de la región fronteriza México-Estados Unidos. Valles de Imperial y Mexicali*. Universidad Autónoma de Baja California y Miguel Ángel Porrúa.
- SEMENOV, M.A. *et al.* (1998). “Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates”. *Climate Research*, 10, pp. 95-107.
- SEMENOV, M.A. y Barrow E.M. (1997). “Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios”. *Climatic Change*, 35, pp 397-414.
- SEMENOV, M.A. y Brooks R.J. (1999). “Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain”. *Climate Research*, 11, pp. 137-148.
- SOLOMON S. *et al.* (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. SOLOMON, S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K. B., TIGNOR M. y MILLER H. L. (Eds.). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- WILBY, R.L., C.W. DAWSON y E.M. BARROW (2002). “SDSM — a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts”. *Environmental Modelling Software*, 17, pp. 145-157.
- ZERMEÑO, D. (2008). *Análisis probabilístico de escenarios escalados de precipitación y temperatura bajo cambio climático en México*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.