

---

# **ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO: HERMOSILLO, SONORA, UN CASO DE ESTUDIO**

desarrollado por:

*Stratus Consulting, Inc.,*

Universidad Nacional Autónoma de México

y

El Colegio de Sonora

para

Instituto Nacional de Ecología,  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

y

*United States Environmental Protection Agency*

Enero 2004

---

### INDICE

Presentación .....	3
1 Aspectos del cambio climático en México .....	5
1.1 Sobre el cambio climático.....	5
1.2 El clima de Sonora: México.....	6
1.3 Escenarios de clima futuro para la región de Hermosillo .....	8
2 Sobre la adaptación al cambio climático .....	9
2.1 La vulnerabilidad al cambio climático.....	9
2.2 Adaptación al cambio climático en Hermosillo.....	10
2.2.1 Capacidad de Adaptación .....	10
2.2.2 Planeación ambiental y programas. ....	11
3 Diseño y desarrollo del proyecto .....	12
3.1 El Proyecto de Adaptación al Cambio Climático en Sonora: Etapa 1 .....	12
3.1.1 Primeras acciones.....	13
3.1.2 Desarrollo de Talleres de Trabajo con actores clave. Opciones de adaptación al cambio climático en Hermosillo .....	14
3.2 El Proyecto de Adaptación al Cambio Climático en Sonora: Etapa 2 .....	15
3.3 Un Programa de Cultura del agua.....	15
a) Antecedentes .....	15
b) El Programa de Cultura del Agua en Zaragoza, España, como un posible ejemplo a seguir.....	18
c) Cultura de agua en Hermosillo .....	20
d) Una nueva cultura del agua en Hermosillo .....	21
3.4 Un programa de construcciones acordes al clima.....	25
a) Objetivo del análisis.....	25
b) Sobre el crecimiento urbano de Hermosillo.....	25
c) La construcción bioclimática en regiones áridas.....	31
i) Experiencias exitosas en el mundo .....	31
ii) El caso de la Ciudad de Hermosillo .....	32
Concepto .....	33
3.5 Un programa de captura de agua .....	46
4 Evaluación de los resultados del Trabajo.....	59
5 Conclusiones y Trabajo Futuro .....	63

El presente informe ha sido preparado por Víctor Magaña (UNAM), Hallie Eakin (UNAM), José Luis Moreno (Colegio de Sonora), José María Martínez (Universidad de Sonora) y Osvaldo Landavazo (Universidad de Sonora).

## Presentación

En este informe se describen los objetivos, actividades y resultados de la primera iniciativa formal en México, en materia adaptación al cambio climático en México. El proyecto, titulado “Apoyo para Vulnerabilidad y Adaptación en México,” tuvo como objetivo principal el determinar esquemas de trabajo entre autoridades, actores clave en el problema del agua y académicos locales que resultaran en propuestas de medidas de adaptación al problema de disponibilidad del agua. El estudio fue financiado por la División de Programas Globales de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología (INE) del Gobierno Federal de México.

El proyecto inició a con reuniones y consultas entre la EPA, el INE, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y la empresa *Stratus Consulting* (subcontratado por el EPA) en 2001 que llevaron a fijar las siguientes metas:

- Identificación y evaluación de las posibilidades de adaptación a los impactos previsibles del cambio climático futuro sobre los recursos hídricos en el norte de México;
- Consulta entre los principales actores clave de la región para identificar, analizar, y establecer prioridades entre las adaptaciones posibles para enfrentar la futura vulnerabilidad a la variabilidad y cambio climáticos; y
- Puesta en marcha de un proceso para explorar asuntos de adaptación a cambio climático que pudiera ser aplicada tanto en otras regiones de México como en otros países.

La ciudad de Hermosillo, Sonora, fue seleccionada para el estudio de caso del proyecto por presentar un problema de disponibilidad del agua, y una señal clara de cambio climático. El informe que se presenta a continuación describe las actividades desarrolladas en el proyecto para involucrar la participación de diversos sectores en el proceso de definición de medidas de adaptación así como los principales resultados obtenidos. En la primera sección se analiza el clima regional, su variabilidad y tendencias, y se generan escenarios de cambio climático, los cuales se utilizan en el proyecto. En las secciones que siguen, se describe en detalle tres esquemas de adaptación que fueron seleccionados como prioritarios a través de un proceso de consulta con actores clave de la región. Además de ofrecer una descripción técnica de cada medida adaptación, se analizan los arreglos institucionales, los asuntos legales, las lecciones derivadas de otros proyectos exitosos y la factibilidad general relacionada con cada opción. El informe concluye con los resultados del último taller de trabajo, en el que las tres opciones fueron evaluadas con la participación de expertos hídricos y usuarios del agua en la ciudad de Hermosillo.



## **Adaptación al cambio climático: Hermosillo, Sonora, un caso de estudio.**

### **1 Aspectos del cambio climático en México**

#### 1.1 Sobre el cambio climático

Estudios recientes indican que el incremento en el calentamiento global continuará durante el presente siglo (IPCC 2001). Existe un consenso general de que dicho calentamiento es en parte resultado del incremento en las concentraciones de gases de invernadero de origen antropogénico como son: el vapor de agua, el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y los clorofluorocarburos (CFC). A excepción de estos últimos, todos los otros existen de manera natural en la capa más baja de la atmósfera (conocida como troposfera) y atrapan parte del calor que emite la superficie de la Tierra re-emitiéndola a la superficie. Este proceso corresponde al llamado efecto de invernadero, un proceso esencial dentro del sistema climático. Los gases de invernadero son muy eficientes en atrapar el calor que emite la superficie de la tierra por lo que un ligero incremento en estos gases es suficiente para modificar significativamente las propiedades de la atmósfera (i.e., temperatura promedio) y, consecuentemente, del clima. Por ejemplo, se ha observado que la temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado entre 0.3 y 0.6°C desde 1886.

Los efectos del calentamiento global son tan importantes que la ONU estableció el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC) en 1988 para evaluar la información relevante sobre el tema, el impacto potencial sobre los recursos (hidrológicos, desertificación y sequía meteorológica, agricultura, asentamientos humanos, etc.) y las posibles medidas de mitigación y adaptación. Los escenarios futuros que ha generado el PICC muestran rápidos incrementos en la temperatura promedio global para el presente siglo, lo que ya está ocasionando alteraciones al ciclo hidrológico y consecuentemente, cambios importantes en la disponibilidad de agua.

Debido a los efectos potenciales del calentamiento global en el ciclo hidrológico existe un gran interés por diversos sectores (e.g. administradores y usuarios) en conocer su impacto en los recursos hidráulicos del país. Conociendo la vulnerabilidad actual a condiciones anómalas en el clima y disponiendo de escenarios del clima futuro y sus impactos se pueden proponer estrategias para enfrentar situaciones climáticas adversas. La implementación de acciones para enfrentar los aspectos negativos del cambio climático constituye lo que se conoce como adaptación al cambio climático.

Para generar escenarios sobre disponibilidad de agua es importante conocer las tendencias a futuro del clima (lluvias), de las demandas de agua entre diversos sectores socioeconómicos y de las políticas de uso, re-uso y manejo de este elemento. La primera requiere de un estudio científico

cuidadoso que permita analizar los cambios que experimenta y experimentará el clima en años por venir. Las dos últimas son determinadas en gran medida por factores económicos, políticos y sociales.

Generar escenarios de clima a futuro en México requiere conocer los mecanismos que modulan las lluvias y la temperatura a escala regional, desde el ciclo anual hasta su variabilidad inter-decadal. Tal consideración implica el revisar la información existente para tener una estimación de los rangos en que nuestro clima ha variado en las últimas décadas.

### 1.2 El clima de Sonora: México

La ciudad de Hermosillo ha experimentado un crecimiento constante a lo largo del siglo pasado y las proyecciones muestran similares tendencias a futuro. Históricamente el Estado de Sonora ha ocupado un lugar preponderante en el país por su desarrollo económico, basado principalmente en la agricultura y en la ganadería. Está situado en la porción más árida del territorio nacional, en la ecoregión conocida como Desierto de Sonora que se extiende a través de los estados de California y Arizona en la Unión Americana y Baja California y Sonora en México, esta última entidad alberga el 40% de las poco más de 22 millones de hectáreas que comprende este desierto. (MARSHALL, R. 2000).

El clima del norte de México es esencialmente semiárido, con precipitaciones anuales mayores hacia las regiones costeras. La evaporación excede la precipitación y por tanto existen importantes déficit de humedad en el suelo. La precipitación promedio anual en el estado de Sonora es de aproximadamente 428 mm, y en la región de Hermosillo entre 250 y 300 mm. La mayor parte de la precipitación ocurren en los meses de verano asociada con el llamado Monzón Mexicano. En invierno, algunos frentes fríos llegan a producir lluvias y nevadas en las partes altas del estado.

La temperatura media anual en Hermosillo varía entre 15 y 25° C. Sin embargo, la mayor parte del año las temperaturas máximas están por encima de los 30° C, y en algunos casos, las temperaturas máximas pueden alcanzar los 45° C. Existen marcadas variaciones inter-decadales en la temperatura media anual. La década de los 70 y 80 fueron relativamente frescas, resultado de mayores precipitaciones y nubosidad.

Por otro lado, las lluvias estacionales exhiben una marcada variabilidad interanual, por lo que en ciertos años las lluvias pueden alcanzar los 600 mm en un año mientras que en otros difícilmente alcanzan los 200 mm (Fig. 1)

Las décadas de los 70 y 80 vieron un marcado aumento en la precipitación. Sin embargo, en los noventa la tendencia se revirtió, regresando a lluvias de entre 200 y 300 mm anuales, aunque muchos concluyeron equivocadamente que se trató de una década de sequías (meteorológicas). Un análisis de la precipitación en la región de Sonora indica que la tendencia de la lluvia en el siglo XX fue positiva, aunque con variaciones inter-decadales marcadas.

El aspecto más interesante de las lluvias en la región de Hermosillo es que además de que en el largo plazo parece llover más que antes, la forma de llover ha variado, presentándose más lluvias intensas año tras año es decir, cada vez ocurren más aguaceros. Diversos análisis sugieren que con más aguaceros habrá mayores precipitaciones anuales.

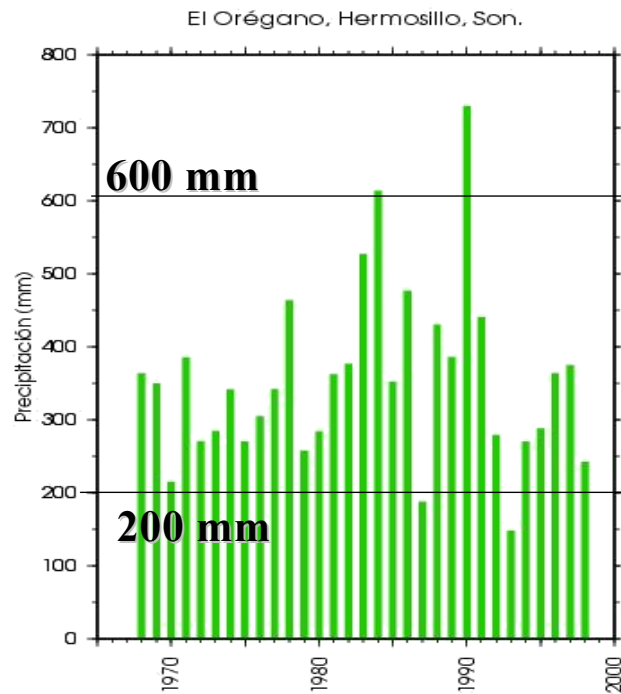


Fig. 1 Lluvia acumulada anual (mm) en Hermosillo (estación el Orégano)

La tendencia a un poco más de lluvia y más aguaceros parece presentarse en la mayor parte de la región noroeste de México. En la ciudad de Hermosillo, dichas tendencias en el ciclo hidrológico, así como el aumento en la urbanización parece hacer de los encharcamientos en las calles algo cada vez más frecuente.

El mecanismo modulador de las lluvias de invierno es el conocido fenómeno El Niño, que resulta en una tendencia a mayores lluvias invernales, mientras que La Niña lleva a disminución de la precipitación invernal. Sin embargo, no es claro qué modula las lluvias de verano. Aparentemente, El Niño no tiene gran influencia sobre las tormentas del Monzón Mexicano, por lo que la predecibilidad del clima en esta región de México es baja. Incluso se planea para los próximos años, desarrollar el Experimento del Monzón de Norte América (NAME, por sus siglas en inglés), con la finalidad de explicar los factores que controlan la variabilidad del clima en el noroeste de México y suroeste de los Estados Unidos. Gran parte de la dificultad en predecir las lluvias estacionales en Sonora radica en que un huracán que toque tierra en esta región puede

ocasionar un año lluvioso.

Las variaciones interanuales del clima tienen un importante impacto en la disponibilidad de agua de la región. Los niveles de las presas reflejan una buena o mala temporada de lluvias, aun y cuando existe un manejo del recurso. La disminución de las lluvias de los noventa resultó en una tremenda disminución de los niveles de la presa Abelardo L. Rodríguez, por lo que en años recientes está prácticamente seca. La disponibilidad de agua de Hermosillo depende en cierta medida de los niveles de esta presa.

### 1.3 Escenarios de clima futuro para la región de Hermosillo

Para generar escenarios regionales de cambio climático se puede recurrir a resultados de experimentos con modelos de circulación general o simplemente extrapolar las tendencias del último siglo a futuro. Siguiendo la primera estrategia se encuentra que las temperaturas del noroeste de México experimentarán un aumento de entre uno y dos grados centígrados en aproximadamente cincuenta años. Sin embargo, no existe un escenario único cuando se trata de establecer la tendencia que seguirán las lluvias en los próximos años. Algunos modelos sugieren un escenario más lluvioso mientras que otros indican mayor probabilidad de menos lluvias. En cualquier caso, un ambiente más caluroso resultará en menos humedad en el suelo y quizá menor disponibilidad de agua por causa del cambio climático.

Siguiendo la estrategia de extrapolar las tendencias del clima de los últimos cincuenta años, se puede imaginar un escenario con mayores temperaturas promedios y un poco más de precipitación. De continuar la tendencia a un poco más de lluvia se puede esperar que los aumentos en la temperatura sean menores a lo previsto por los modelos.

Una combinación de ambas estrategias para generar escenarios de cambio climático indicaría que es probable que en la década alrededor del 2050, por ejemplo, se pueda vivir en Hermosillo en un clima:

- i) más cálido y con menos lluvia,
- ii) más cálido y con un poco más de lluvia y aguaceros.

Cualquiera que este sea, la tendencia parece ser de mayor evaporación, menor humedad del suelo, menor disponibilidad de agua y aumento tanto en la extracción de agua de los acuíferos como en el consumo de energía por aparatos de aire acondicionado para mantener el confort.

## 2 Sobre la adaptación al cambio climático

### 2.1 La vulnerabilidad al cambio climático

La distribución espacial del recurso agua en México dista mucho de ser uniforme. El 50% de la población cuenta con menos del 20% de este recurso, mientras que en el sudeste del país, el 20% de la población tiene más del 50% del agua. Con poca precipitación en el norte y mucha en el sur, el cambio climático podría traducirse, de acuerdo con los escenarios del *Estudio de País*, en escasez de agua en el norte y exceso hacia el sur. Además, dado que actualmente todas las cuencas hidrológicas en el país son vulnerables de acuerdo a los criterios utilizados en el *Estudio de País* y a las fluctuaciones climáticas, la situación probablemente se vería empeorada en condiciones de cambio climático. La administración de los recursos hídricos se complicaría, agravándose incluso los problemas existentes de manejo de recursos hídricos transfronterizos.

Análisis de precipitación en el largo plazo sugieren una ligera tendencia a mayor precipitación en el noroeste de México. Sin embargo, el crecimiento en la demanda supera por mucho el crecimiento en la oferta resultado de ese ligero aumento en la precipitación. Es por ello que los asentamientos humanos son vulnerables en cuanto a la satisfacción de sus requerimientos de agua, y posiblemente, bajo cambio climático, requieran un consumo mayor de energía para el control de la temperatura en casas e industrias, así como para la conservación de alimentos. Estas demandas extras constituirán un reto al sistema energético mexicano.

La variabilidad climática reciente, expresada en sequías, inundaciones o más huracanes intensos, requiere atención inmediata. Es a través de estos fenómenos que el cambio climático se va a manifestar, o se está manifestando, por lo que es necesario pensar en acciones que permitan prepararse ante su incidencia, proponiendo diferentes procesos de adaptación que serán útiles también en condiciones de cambio climático. De esta manera se ahorrarán vidas y pérdidas materiales en el corto plazo y se estará en mejores condiciones para enfrentarse al cambio climático. Es muy probable que los mecanismos de adaptación que se propongan en la actualidad para enfrentar la variabilidad climática interanual constituyan las bases de lo que será la adaptación ante el cambio climático, por lo que trabajar en este campo resulta fundamental.

En Hermosillo, el principal problema por enfrentar bajo cambio climático es la disponibilidad de agua. La principal fuente de este recurso son los acuíferos de la región, sujetos a intensa explotación por bombeo para irrigación en agricultura. No es claro cuál es el estado de estos, es decir el nivel y razón de abatimiento del nivel freático. La competencia por el agua entre sectores, como el urbano y el agrícola parece aumentar. Si se considera el desarrollo industrial reciente de la región, y el potencial desarrollo del sector turismo, la situación se agravará. Un aumento en la agricultura de irrigación y un aumento en la demanda del sector urbano pueden llevar a tensiones por el agua.

El caso de Hermosillo bien podría ejemplificar el caso de gran parte del país y sus problemas con el agua. Se estima que el 75% del agua disponible se utiliza en el sector agrícola. En la mayoría de los casos, se considera que los sistemas de irrigación son poco eficientes. El agua para irrigación es prácticamente gratis por lo que poco se ha hecho por mejorar los sistemas de riego con el fin de ahorrar agua. Los grandes productores dicen que han reducido su consumo de agua en las últimas décadas. Es por ello que pocas veces se puede pensar en soluciones para un sector que puedan resolver problemas en otro.

### 2.2 Adaptación al cambio climático en Hermosillo

Las negociaciones en materia de cambio climático aun no rinden los frutos deseados, por lo que se espera que el cambio climático ocurra como se predice, si no es que ya está ocurriendo. Aun y cuando se tomaran medidas, como las sugeridas en acuerdos internacionales, la tendencia a cambios en el clima continuarán, por lo que además de pensar en estrategias de mitigación, en el sentido de reducción de emisiones, es muy importante considerar estrategias de adaptación.

Aún sin considerar cambios futuros del clima, los funcionarios públicos de Hermosillo están trabajando arduamente para diseñar políticas sustentables que permitan a la ciudad cubrir la demanda de usuarios urbanos e industriales. *Ford Motors* tiene su planta de fabricación de vehículos automotores más grande de México en Hermosillo, y en la década pasada otras maquiladoras también se establecieron en este municipio. Esto llevará a ofertas de trabajo, aumento de la población y más demanda de agua. Además, el Gobierno Federal está promoviendo un proyecto denominado *Escalera Náutica*, a lo largo de la costa norte del Pacífico, mismo que puede tener implicaciones importantes por el uso y demanda futuro del agua en el municipio.

Al considerar adaptación al cambio climático para el caso del noroeste de México, dos aspectos de las políticas de desarrollo se deben considerar:

- i) El agua se considera hoy en día como un recurso de seguridad nacional
- ii) El proyecto turístico Escalera Náutica recibirá apoyo oficial

Estos elementos influyen significativamente en las soluciones que se planteen para el problema agua, pues en ambos casos la participación gobierno federal será determinante..

#### 2.2.1 Capacidad de Adaptación

En un contexto general, es necesario considerar algunos elementos relacionados con el proceso de adaptación, característicos de México. Adaptación se debe distinguir del un simple *ajuste a* las nuevas condiciones. La adaptación significa un cambio fundamental de un sistema a una condición futura distinta de la presente, que resista mejor los impactos climáticos. Una adaptación puede ser a través tecnologías, comportamiento individual, organización social, normas y políticas, actividades económicas o educación. La capacidad de adaptación varía entre países y

poblaciones, y depende, entre otros factores, de los recursos disponibles, el grado de desigualdad social que exista, la fuerza de las instituciones públicas, así como las prioridades y la voluntad de los que toman decisiones.

En general, en los países latinoamericanos existen serias limitaciones en términos de capacidad adaptativa para reducir la vulnerabilidad al cambio climático. Tal condición podría llevar a un alto riesgo climático si se considera una tendencia al aumento, no sólo de la vulnerabilidad, sino también del número de eventos hidrometeorológicos extremos. La capacidad en materia de gestión de riesgo climático necesita mejorar reduciendo la vulnerabilidad, utilizando pronósticos climáticos estacionales, sistemas de alerta temprana, prevención de desastres, mitigación y reconstrucción. Con frecuencia es necesario empezar el proceso de adaptación al cambio climático con un enfoque en el fomento de capacidad adaptativa antes de poner en marcha adaptaciones tecnológicas específicas. Idealmente, se mejora la capacidad adaptativa de una población al mismo tiempo que se diseñan e implementan adaptaciones particulares. Tal es la filosofía que se ha seguido en el presente estudio, enfocado al problema del agua en la ciudad de Hermosillo, Sonora, como un ejemplo de problema que afecta a muchas regiones del norte de México.

### 2.2.2 *Planeación ambiental y programas.*

Aunque en alguna forma en México han mejorado las legislaciones ambientales, en particular en materia de agua, los mecanismos para implementar y hacer cumplir la legislación son poco eficientes. Es poca la atención que se presta a la vulnerabilidad a la variabilidad climática y menor aun la que se da al cambio climático. Por lo anterior, las estrategias de adaptación ante dicho fenómeno, rara vez son analizadas a nivel oficial.

Las deterioradas condiciones económicas, sociales y ambientales incrementan el riesgo asociado a la variabilidad y el cambio climático. Dado el alto número de personas que viven en zonas de alto riesgo, la pérdida de vidas humanas, de viviendas y otro tipo de infraestructura es común. Los desastres “climáticos” pueden producir en pocos días grandes pérdidas equivalentes a varios años de desarrollo y calidad de vida. Los efectos del cambio climático en las economías nacionales y los costos de la asistencia oficial no han sido considerados en la mayoría de las evaluaciones de vulnerabilidad.

Es a través el proceso de políticas públicas que la adaptación puede ser más efectiva. En la actualidad, las autoridades están considerando varias opciones para lograr metas de bienestar público tomando en cuenta en cierta forma el factor ambiental, e inclusive el climático. Así, la toma de decisiones en el sector gobierno puede resultar en mejores propuestas y adaptaciones para el reducir el riesgo climático presente, e incluso el riesgo climático futuro, asociado esencialmente al cambio climático.

En el año 2000, el gobernador de Sonora y el gobierno de la ciudad de Hermosillo revisaron opciones para mejorar el abastecimiento de agua en la ciudad y así reducir su dependencia de

fuentes de agua que varían considerablemente con el clima. El estudio realizado por la Comisión de Agua Potable y Alcantarillo del Estado de Sonora (COAPAES ) rechazó todas las opciones que requerían de una renegociación sobre los derechos del agua del sector agrícola para enfocarse en soluciones más dependientes de la infraestructura.

Algunas de las potenciales soluciones al problema del agua en Hermosillo sólo consideran la condición climática actual (e.g., planta desaladora de agua de mar). Sin embargo, el cambio climático podría generar nuevos retos futuros que bien valdría la pena considerar en la solución que se plantee desde ahora. El proceso actual de evaluación de la problemática del agua representa una buena oportunidad para analizar el tema de cambio climático dentro del proceso de formulación de nuevas políticas y programas hidráulicos.

### 3 Diseño y desarrollo del proyecto

#### 3.1 El Proyecto de Adaptación al Cambio Climático en Sonora: Etapa 1

Para conocer las capacidades de adaptación al cambio climático en México, el caso de Sonora y su disponibilidad de agua resulta ilustrativo. Financiado por la División de Programas Globales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), y en colaboración con el instituto Nacional de Ecología (INE) de México, se decidió desarrollar un estudio sobre “Vulnerabilidad y Apoyo a la Adaptación en México”. El proyecto dio inicio a principios del 2001 con discusiones sobre el tema de cambio climático y adaptación, para decidir dónde desarrollar un estudio que resultará representativo de diversas regiones mexicanas en donde la disponibilidad de agua bajo cambio climático pudiera convertirse en un factor de riesgo para el desarrollo. En dichas discusiones participaron especialistas de la EPA, *Stratus Consulting* (agencia subcontratada por EPA), el INE, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Universidad Nacional Autónoma de México.

Los principales objetivos del proyecto fueron:

- i) Identificar y evaluar esquemas de adaptación al impacto esperado del cambio climático futuro, especialmente en el recurso agua en el norte de México.
- ii) Trabajar con actores clave en el problema del agua para identificar, analizar y priorizar las estrategias de adaptación sugeridas en relación a condiciones extremas del clima bajo variabilidad o cambio climático.

Un elemento de gran importancia dentro del proyecto fue la participación de los actores clave (*stakeholders*) en la evaluación de los riesgos que enfrentarán a futuro y de los acciones factibles para enfrentar tales riesgos. Las medidas de adaptación representan mucho más que una lista de recomendaciones en cuanto a políticas, programas o proyectos de obras públicas, constituyendo “. . . un proceso de ajustes negociados que involucran a los individuos, la sociedad civil y el estado” (Adger *et al.*, 2002). La estrategia para la consulta con los diferentes sectores involucrados,

durante cada etapa del proyecto, sigue el esquema de “aprender haciendo” (“*learning by doing*”) que las Naciones Unidas ya están promoviendo en el tema de adaptación (ver, por ejemplo, las primeras ediciones del Marco de Políticas de Adaptación, *Adaptation Policy Framework*).

### 3.1.1 Primeras acciones

El proyecto se organizó para asegurar que las adaptaciones consideradas fueran una respuesta no sólo a los escenarios de cambio climático de la región, sino también a las tendencias observadas en el clima, a las experiencias recientes sobre disponibilidad de agua, y a los problemas de sequía e inundaciones. Se examinó en qué medida se incluye el tema del cambio climático en las discusiones locales que se llevan a cabo actualmente sobre las políticas actuales y futuras en materia de agua, a fin de maximizar la relevancia del proyecto para contribuir a resolver las preocupaciones sobre la vulnerabilidad presente y futura de la región.

Para asegurar que una gran variedad de actores clave participaran en el proyecto, el trabajo se realizó en tres etapas. La primera etapa consistió en una evaluación preeliminar de la problemática del agua en Hermsillo, a través de una consulta informal con autoridades municipales, usuarios de agua (de sector agrícola y urbano), y expertos académicos. Dicha consulta tuvo lugar en mayo 2002.

En general, los entrevistados en Hermsillo expresaron mucho interés en el tema del proyecto principalmente por la urgencia de resolver el problema del agua en la región. Aunque no existía conocimiento sobre cambio climático, reconocieron que la ciudad era bastante sensible a la variabilidad climática y a los impactos de eventos extremos. Uno de los problemas al que se hizo referencia era el conflicto sobre el derecho de uso de agua del acuífero de Hermsillo que abastece, tanto al sector agrícola, como a una parte de la ciudad. Otra preocupación está en el incremento constante en la demanda de agua, y los problemas de infraestructura que limitan la capacidad de la ciudad para satisfacer la misma. En resumen, los entrevistados coincidieron que el problema de agua en Hermsillo era apremiante, de interés general y por lo mismo, de gran relevancia política.

A través de estas entrevistas, se construyó una lista preliminar de opciones de adaptación que los varios actores consideraron como viables:

- 1) Desalación de agua de mar
- 2) Creación de un mercado del agua entre la ciudad y pequeños productores agrícolas con derechos de agua
- 3) Transporte del agua del Río Yaquí para uso en Hermsillo (acueducto)
- 4) Manejo del agua de la presa “El Molinito”

Estas opciones sirvieron como elementos preliminares de análisis. Bajo tal esquema se solicitaron estudios en básicos sobre mejoras en sistemas de riego y sobre condiciones socioeconómicas, que permitieran establecer un marco de trabajo durante talleres con actores clave.

Dichos estudios se desarrollaron previos al primer Taller de Trabajo y estuvieron a cargo del Dr. Ernesto Vázquez del Instituto de Ingeniería de la UNAM y del Dr. Daniel Rodríguez, de la Escuela de Trabajo Social de la UNAM (informes disponibles).

### *3.1.2 Desarrollo de Talleres de Trabajo con actores clave. Opciones de adaptación al cambio climático en Hermosillo*

El primer taller se realizó el 29 de agosto del 2002 en Hermosillo, con la participación de veinte personas de diferentes instituciones y sectores. A pesar de que se consultaron instituciones del sector agrícola en los meses previos del taller, hubo poca representación de ese sector en el mismo. Con base en las consultas iniciales con usuarios, expertos, funcionarios, políticos y otras personas involucradas en asuntos de agua, se discutieron en el taller una variedad de opciones para adaptarse, considerando soluciones al problema presente y futuro (cambio climático), aprovechando parte de la información obtenida en entrevistas y los estudios en materia de riego y condición socioeconómica de Hermosillo. Entre las propuestas inicialmente analizadas en el Taller se tuvieron las siguientes:

- Tratamiento de aguas negras
- Mejoramiento en la eficiencia de equipos de riego
- Un nuevo mercado sobre los derechos de agua (para uso agrícola y urbano)
- Desalación de agua de mar
- Educación sobre ahorro de agua
- Nuevos planes hidráulicos

Para que en el trabajo con los actores clave se analizará con detalle el elemento cambio climático, se presentaron a los participantes dos posibles escenarios futuros de clima que fueron:

- a) “*más caliente y más húmedo*”, asumiendo que la lluvia se concentrará en eventos más intensos (aguaceros) que actualmente; o
- b) “*más caliente y más seco*”, considerando una mayor probabilidad de sequías prolongadas.

En ambos casos se pidió a los participantes en el Taller que consideraran la demanda creciente de agua en la región derivada del crecimiento demográfico y el desarrollo económico local.

Después de una amplia discusión, los participantes en el Taller coincidieron en que el proyecto debe enfocarse en los asuntos de agua en el entorno inmediato de la ciudad de Hermosillo (dejando de lado la problemática del uso de agua para fines agrícolas en la zona de riego fuera de Hermosillo), y que las acciones prioritarias de adaptación fueran las siguientes:

1. Promoción de una “cultura de agua” dirigida a usuarios,
2. Mejoramiento de la eficiencia en el consumo de agua y energía en viviendas urbanas
3. Mejor manejo de eventos extremos de lluvia
4. Captura y almacenamiento de los escurrimiento de agua derivados de eventos de lluvia intensos (por inyección de agua en los acuíferos)
5. Reducción del agua usado por riego en el sector agrícola

Después el Taller, el equipo del proyecto decidió enfocarse en las primeras tres opciones, combinando el manejo de eventos extremos de lluvia con la sugerencia de capturar escurrimientos. Dado la ausencia de participantes del sector agrícola, se dejaron las opciones de adaptación relacionadas con la producción agrícola fuera del proyecto.

### 3.2 El Proyecto de Adaptación al Cambio Climático en Sonora: Etapa 2

Una vez definidas las opciones de adaptación al cambio climático, con el trabajo del Taller, se procedió a realizar un estudio preliminar sobre la viabilidad de cada una de las tres opciones, con el apoyo de expertos del sector académico en cada tema. Por un periodo de casi medio año, se realizó el trabajo mediante revisión bibliográfica, encuestas, y estudios de condiciones locales.

A continuación se presentan los resultados de las investigaciones para cada una de las opciones, esto es:

- i) Programa de Cultura del Agua,
- ii) Mejoramiento en la vivienda, y
- iii) Proyecto de Captura de Agua.

### 3.3 Un Programa de Cultura del agua

#### a) Antecedentes

En el contexto de la discusión sobre las causas de la crisis mundial del agua, una opinión generalizada es que se trata de una crisis de gestión de los recursos hidráulicos, esencialmente causada por la utilización de métodos inadecuados. Por ello, se trata fundamentalmente de un problema de *actitud y comportamiento*, esto es, problemas en su mayoría identificables y localizables<sup>1</sup>.

En América Latina, estos problemas de actitud y comportamiento se han enfrentado mediante estrategias vinculadas a la educación ambiental que buscan sensibilizar, propiciar o fomentar una actitud positiva hacia la conservación y uso adecuado del recurso agua, todo ello bajo el concepto genérico de *CULTURA DEL AGUA*. Esto sucede aun y cuando se reconoce que la “nueva cultura del agua”, no sólo tiene como instrumento a la educación, sino también el desarrollo tecnológico, la

<sup>1</sup>UNESCO, *Agua para todos. Agua para la vida*, Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en el Mundo, París, Francia, 2003, p. 4.

formación de recursos humanos y el acceso a la información sobre todos los aspectos ligados a la gestión de recursos hidráulicos<sup>2</sup>.

Aunque no hay una definición precisa sobre lo que se entiende por cultura del agua, en México tal estrategia se basa en la creación de espacios *ad hoc* para la elaboración, distribución y difusión de material educativo (Cuadro 1).

<b>ACCIONES PRINCIPALES EN PROGRAMAS DE CULTURA DEL AGUA MEXICO</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Espacios de Cultura del Agua</li><li>• Creación de bibliotecas</li><li>• Libros de Texto</li><li>• Pláticas escolares y comunitarias</li><li>• Pinta de bardas</li><li>• Material didáctico (Manuales, folletos, videos, carteles, rotafolios, revistas)</li><li>• Capacitación de promotores</li></ul>

**CUADRO 1**

La estrategia se ejecuta en todo el país a través del órgano rector, la Comisión Nacional del Agua, y sus delegaciones en las entidades federativas. Un ejemplo de Programa de Cultura del Agua se lleva a cabo en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, en el que el organismo operador del agua trabaja desde 1986. El programa comprende un mayor número de actividades, con un enfoque participativo, involucrando diversos sectores de la sociedad (Cuadro 2).

<b>MONTERREY</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Visitas a instalaciones y plantas</li><li>• Exposiciones permanentes en parques públicos y temporales</li><li>• Participación en ferias populares, foros simposios y convenciones</li><li>• Enciclopedias con software interactivos</li><li>• Grupos guardianes del Agua</li><li>• Campaña anual masiva en medios electrónicos</li><li>• Mensajes en productos industriales y otros (bolsas, empaques, prensa, revistas, playeras, gorras)</li></ul>

**CUADRO 2**

<sup>2</sup> *Agua para las Américas en el siglo XXI*, El Colegio de México-Comisión Nacional del Agua, 2003, p. 94.

A pesar de que hay más programas de cultura del agua en México, su implementación y resultados comienzan a ser cuestionados. Por ejemplo, cuando una campaña de comunicación se justifica sólo en sí misma y con fines de imagen institucional o de propaganda, su función educativa o comunicativa se desvanece, desperdiciándose el potencial que tiene en la modificación de hábitos y comportamientos, así como en la formación de actitudes y valores<sup>3</sup>. Un problema inherente de estas campañas es que nunca se evalúan y tienen muy poco efecto en la modificación de hábitos de consumo. Esto se debe a que no responden a procesos previos con los que la población haya estado en contacto y a que no detonan procesos posteriores. Así, las campañas se emplean sólo para comunicar resultados y no ayudan a preparar a la población en la toma de decisiones o para poner en marcha un programa específico.

Otros problemas de los actuales programas de cultura del agua son:

- i) la falta de indicadores que señalen qué sucede con el material educativo; si está siendo usado por maestros,
- ii) el presupuesto casi simbólico que se les destina y su impacto prácticamente nulo en el país, y
- iii) la falta de información básica sobre el tema hacia los potenciales participantes e interlocutores.<sup>4</sup>

El general, la cultura del agua tiene un carácter pluridimensional y es el resultado de un conjunto de dimensiones relacionadas con distintos niveles de la personalidad (valores, creencias, conocimiento, actitudes, comportamientos), que se expresan en forma de opiniones que emiten los ciudadanos sobre este tema. Las opiniones varían en función de las características demográficas de la población (edad, sexo, nivel de estudios), de variables socioestructurales (ocupación, nivel de ingreso), de situación (hábitat, lugar de residencia), e ideológicas (conciencia ecológica, preferencias políticas), de tal modo que pueden distinguirse grupos diversos respecto a la cultura del agua. Las cuatro dimensiones son los *sentimientos* que manifiesta la población sobre la problemática del agua, su *conocimiento* de la misma, la *predisposición* a medidas de regulación, y las *conductas* individuales y colectivas. Una descripción de cómo se expresan estas dimensiones en la ciudad de Hermosillo se presenta en el apartado 3.

En este análisis se considera **la cultura del agua como un problema de demanda, y no como tradicionalmente se hace, como un problema de oferta**. Esto es, se da prioridad a los excesos en el consumo, a la falta de racionalidad en su utilización, y a la ineficiencia de la infraestructura disponible, que a la concepción antigua de la necesidad de construir más obras de captación y abastecimiento para brindar volúmenes adicionales del recurso a una población creciente.

<sup>3</sup> González Gaudiano, Edgar, “¿Para qué una cultura del agua? ”, *Agua y Desarrollo Sustentable*, Gobierno del Estado de México, vol. 1, núm. 1, 2003, p. 15-17.

<sup>4</sup> *Ibidem*.

*b) El Programa de Cultura del Agua en Zaragoza, España, como un posible ejemplo a seguir.*

El trabajo realizado en la ciudad española de Zaragoza, en la región central de España, en materia de cultura del agua, puede resultar de gran utilidad como ejemplo de lo que se puede hacer en Hermosillo, principalmente cuando se considera que sus características de precipitación media anual (367 mm) y de población (más de 600 mil habitantes) son muy parecidas a las de la capital de Sonora.

El proyecto de Zaragoza se llevó a cabo en el periodo de los años 1996-1999. Su estrategia se centró en estimular el mercado de tecnología ahorradora de agua, incidiendo especialmente en la movilización de conciencias en el ámbito doméstico, ya que representaban el mayor número entre todos los agentes implicados de la ciudad. Mediante una encuesta, se obtuvo que 60% de la población no recordaba o desconocía elementos ahorradores de agua en usos domésticos, y que había una desigualdad entre la tecnología disponible en el mercado y la tecnología instalada en los hogares.

Las líneas estratégicas fueron la adquisición de nuevos equipos de saneamiento, la instalación de dispositivos ahorradores en equipos viejos, la adquisición de electrodomésticos ahorradores (lavadoras y lavavajillas) y la introducción de contadores domiciliarios individuales de agua caliente. El objetivo era ahorrar 1,000 millones de litros al año.

Una de las contribuciones de este proyecto es el tipo de actores sociales que participan, en comparación con los programas tradicionales de cultura del agua. Aquí destaca la participación de cuatro grupos:

- i) Los prescriptores: que son los profesionales directamente relacionados con el consumo de agua. Son los verdaderos conocedores de lo que se demanda en el sector y los más calificados para informar de las nuevas tecnologías. Incluye a fabricantes, distribuidores, comerciantes, fontaneros, promotores, constructores y arquitectos.
- ii) Los grandes consumidores: hoteles, restaurantes, bares, gimnasios y centros públicos. Su característica es que reciben una afluencia de gente muy alta y, por tanto, su consumo de agua es significativo.
- iii) El público infantil y juvenil: con gran capacidad de persuasión dentro y fuera del hogar.
- iv) El público en general: que es toda la comunidad.

El proyecto fue elaborado por la Fundación Ecología y Desarrollo, y presentado al Programa *Life* de la Unión Europea. El presupuesto total fue de aproximadamente 7 millones de euros. El 46% lo aportó la Unión Europea, 17% el Ayuntamiento de Zaragoza, 17% la Diputación General de Aragón, 12% una institución financiera: Ibercaja, 6% empresas promotoras y 2% la Fundación

Ecología y Desarrollo. Bajo un análisis costo-beneficio se obtuvo que, mientras el costo de abastecimiento y saneamiento de cada 1,000 litros de agua fue de 169 pesetas, el costo (¿ahorro?) de cada 1,000 litros no consumidos fue de 70 pesetas.

Los logros principales del proyecto se muestran en el cuadro 3. Entre las dificultades que tiene su ejecución resalta que el precio del agua no supone un incentivo de ahorro suficiente a nivel doméstico. Los márgenes de ahorro son muy pequeños.

**LOGROS DE CAMPAÑA "CIUDAD AHORRADORA DE AGUA" ZARAGOZA**

- Amplia concienciación a favor de la cultura ahorradora del agua entre los ciudadanos. Asentamiento de bases que permiten seguir actualmente elaborando proyectos de refuerzo y mejora continua.
- 1,176 millones de litros ahorrados tras un año de campaña, un 17.6% más del objetivo planteado inicialmente y un 5.6% del consumo doméstico anual de la ciudad.
- Aumento de 1/3 a 2/3 de los hogares que utilizaban al final de la campaña alguna medida de ahorro.
- 3,990 viviendas han introducido algún dispositivo de tecnología ahorradora.
- 300,000 ciudadanos (50%) han adoptado algún dispositivo ahorrador en su domicilio.
- El desconocimiento de medidas de ahorro de agua ha descendido del 60% al 28% tras la campaña.
- Colaboración en el Programa Educativo de 474 profesores y unos 70,000 alumnos pertenecientes a 183 centros escolares (69%)
- 150 entidades participantes en la campaña de todos los sectores e instituciones.
- Colaboración de más de 140 comercios relacionados con productos de consumos de agua domésticos (65%)
- 3 promotoras inmobiliarias introducen dispositivos ahorradores de agua en sus nuevas viviendas.
- Colaboración de Asociaciones Empresariales que aglutinan en torno a 1,750 asociados.
- Acuerdo plenario del Ayuntamiento del 31/10/97 para la realización de un Plan de Ahorro de Agua en la ciudad para diversos usos.

**CUADRO 3**

### c) *Cultura del Agua en Hermosillo*

En el caso de la ciudad de Hermosillo, el programa de cultura de agua ha seguido la concepción tradicional de sustentarse en su vinculación con la educación ambiental, tal y como sucede en el resto del país. Desde su inicio en 1996 tuvo como objetivo concienciar a los alumnos de educación preescolar, primaria, secundaria y preparatoria, y padres de familia, en el uso adecuado del agua, dentro de la campaña “Cuidar el agua...tarea de todos”.

Recientemente sus acciones han pasado del ámbito educativo al público en general y familias de los trabajadores del organismo operador.<sup>5</sup> Asimismo, ha comenzado la demostración del funcionamiento de los aparatos ahorradores, tanto en las oficinas del organismo como en los sitios educativos. En la parte educativa, entre septiembre de 2002 y junio de 2003 se visitaron 85 escuelas y se instruyó a 13, 877 niños a través de pláticas con rota folios y videos.<sup>6</sup>

A este programa se le ha atribuido la disminución del consumo de agua de la ciudad de 470 a 375 litros por habitante al día en el periodo 1996-2002. Lo cierto es que esta disminución es el resultado de los programas de racionamiento del líquido implementados desde el año de 1998, sobre todo en la época de verano.

Aunque en el organigrama de la dependencia el programa de cultura del agua aparece como una subdirección de la Dirección de Desarrollo Organizacional, aparentemente no cuenta con presupuesto propio y su desarrollo ha sido irregular a lo largo de estos años, variando su número de personal de un total de 12 en la etapa inicial, a la mitad en la actualidad.

Algunos indicadores íntimamente relacionados con la cultura de agua predominante en Hermosillo y su comparación con otras ciudades de México y de Estados Unidos, se muestra en el cuadro 4.

---

<sup>5</sup> Agua de Hermosillo para los Hermosillenses, *Informe de Actividades, periodo 25 de enero-31 de agosto de 2002*, p. 10.

<sup>6</sup> Entrevista con María Eugenia Coppel, encargada del Programa Cultura del Agua del organismo operador, 16 de junio de 2003.

**PROGRAMA DE CULTURA DEL AGUA: HERMOSILLO (1996 – 2002)**

**Meta:** Reducir consumos de 470 litros a 375 litros por habitante al día

**Estrategia:** Concientizar a los alumnos de todas las escuelas primarias, secundarias y preparatorias sobre el uso adecuado del agua

**Campaña:** “Cuidar el agua.....es tarea de todos”

**Personal:** 12 en total (personal del organismo y servidores sociales de nivel superior)

**Resultados:** Junto con otras medidas como el racionamiento de la dotación a partir de 1998, se redujo el consumo de 470 a 337 litros por habitante al día.

Del 9 de septiembre del 2002 al 17 de junio del 2003, se visitaron 85 escuelas donde se instruyeron a 13,877 niños

**Problemas** El programa ha variado debido a las circunstancias y presupuestos destinados a esta área

**CUADRO 4**

Entre ellos resaltan el bajo porcentaje de medidores, la baja tarifa doméstica, el alto consumo en litros por habitante al día, y la baja eficiencia física y comercial. Además, 28% de los usuarios no paga el servicio, cifra que equivale a aproximadamente 50 mil usuarios. En estos se incluye a los morosos (privados y dependencias de gobierno), a usuarios que ya no existen al transformar sus construcciones, lotes baldíos y casas deshabitadas cuyos propietarios no se localizan, y usuarios inconformes por las estimaciones de consumo<sup>7</sup>.

*d) Una nueva cultura del agua en Hermosillo*

La propuesta que aquí se plantea se basa en la instalación de aparatos ahorradores de agua en los hogares. Sus objetivos son tres:

- fomentar una cultura de conservación del agua.
- reducir el consumo de agua por habitante.
- involucrar a la sociedad en tareas de protección del ambiente.

Las razones que justifican esta propuesta son las siguientes:

- i) investigaciones que muestran un alto consumo de agua en los baños de los hogares.
- ii) resultados de un sondeo aplicado en hogares, en donde se detectó la disposición de la mayoría de la población a participar en un programa de ahorro de agua.

<sup>7</sup> Agua de Hermosillo, *op. cit.*, p. 8.

- iii) la importancia mayor que le brinda el organismo operador a las estrategias orientadas a cambiar patrones de consumo.
- iv) su vinculación estrecha con el programa de medición que lleva a cabo el organismo en toda la ciudad y que culminará en diciembre de 2003.
- v) el bajo costo económico que tiene esta propuesta en comparación con otras basadas en el aumento de la oferta (planta desaladora de agua de mar, acueductos, nuevos pozos).
- vi) el beneficio económico directo que tendría para el usuario.
- vii) su ejecución relativamente sencilla, sin confrontaciones entre sectores sociales, enfoque de colaboración y efecto multiplicador en la creación de conciencia ambiental.

Una de las razones principales para la ejecución del programa está en los datos de investigaciones que revelan que más del 50% del consumo de agua en los hogares se presenta en las instalaciones del baño: regadera, sanitario y lavamanos (cuadro 5)<sup>8</sup>, situación que contrasta con la percepción generalizada de la población de Hermosillo, que cree que es en el lavado de carros o el riego de plantas en donde se consume más agua. Además, cabe decir que en un sondeo efectuado en algunas cadenas comerciales de venta de accesorios para baño, se encontró que el sanitario con capacidad para 6 litros de agua, es el único producto “ahorrador” que se vende y el que más conoce el consumidor.

Para identificar la *Cultura del Agua* de la población en las cuatro dimensiones planteadas por Moyano, se llevó a cabo un sondeo en 280 hogares de Hermosillo del 1 al 21 de mayo de 2003. El instrumento empleado fue un cuestionario de 23 preguntas sobre aspectos de agua y vivienda, que se aplicó en 19 colonias de cuatro estratos socioeconómicos

Más del 90% de los encuestados respondió que el agua sí es un problema en la ciudad. Es decir, hay un *sentimiento* generalizado de que el abastecimiento del líquido enfrenta dificultades. Respecto a la causa, 66% respondió que se debía a la escasez, a la falta de lluvias, o porque la presa –fuente tradicional de abastecimiento– está seca. Un 10% indicó que se debía a mala distribución, 6% a que se desperdicia mucha y 4% a mala administración. Con 2% cada una, se señaló a la presencia de fugas, a la falta de cultura y a que se vive en un clima desértico. Un número bajo de respuestas la atribuyó a “cuestiones políticas” y al incremento de la población. Es decir, el *conocimiento* de la problemática varía y, en general, la explicación va desde aspectos relacionados con las características del entorno natural, a la gestión del agua y a las prácticas de la población.

---

<sup>8</sup> Ver: Acuña, Fernanda y León, Katia, *Diagnóstico del consumo doméstico de agua en Hermosillo*, tesis para obtener el título de ingeniero industrial y de sistemas, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora, julio de 2001; Woodwell, et al, *op. cit.*; y estimaciones de la empresa *Aquavit de México*, que vende los llamados economizadores hidráulicos y cuya sede está en la ciudad de Guadalajara, Jalisco.

<p>30% baño 26% sanitario 8% lavamanos</p> <p>20% lavadora 5% cooler (10% verano) 8% lava trastes 3% riego de plantas, lavado de carros</p> <p>Fuente: Acuña y León, 2001</p>	<p>40% regaderas 30% sanitarios</p> <p>15% lavadoras 6% lavado de trastes 5% beber y cocinar 4% otros aspectos</p> <p>Fuente: Agua de Hermosillo, 2002</p>
<p>28% sanitarios 21% regaderas 5% lavamanos</p> <p>22% lavadora 12% grifos 9% baños 3% lavavajillas</p> <p>Fuente: Woodwell, 1995</p>	<p>93% regadera 5% sanitario</p> <p>2% otros</p> <p>Fuente: Aquavit, 2003</p>

**.CUADRO 5 DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN HOGARES**

El 52% contestó que sí conocía la existencia de aparatos ahorradores de agua, en particular, los sanitarios de depósito pequeño y las regaderas. El 95% manifestó su disposición a participar en campañas y acciones para ahorrarla. Fue notable el bajo porcentaje (9%) de respuesta a la medida de racionar periódicamente el abastecimiento de agua durante el día. Casi la mitad (43%) indicó como incentivo principal para participar el económico, entendido éste como bajas tarifas. Es decir, hay *predisposición* a colaborar en medidas regulatorias, siempre y cuando exista un beneficio económico, y una cierta *conducta* de rechazo a las medidas de racionamiento.

La falta de uso de aparatos ahorradores en los hogares de Hermosillo, se explica por su ausencia en el mercado local (aunque en ciudades vecinas de Estados Unidos están disponibles en el mercado), la falta de promoción, la escasa conciencia del alto consumo de agua en la regadera y la falta de incentivos para instalarlos. En general, los paquetes de aparatos ahorradores pueden

disminuir el consumo de agua hasta en 50%, según datos del fabricante. Su costo es bajo y oscila entre \$90 y \$220 pesos. Su instalación para todas las tomas domésticas y comerciales de la ciudad costaría entre 15 y 37 millones de pesos.

Una estimación global del ahorro en pesos por rango de consumo de agua y tarifa doméstica se presenta en el cuadro 11. Los ahorros más importantes se dan en los consumos mensuales de 51 a 72 m<sup>3</sup> y de 36 a 50 m<sup>3</sup>, con 80 y 58%, respectivamente. Cabe destacar aquí que el consumo promedio en la ciudad es de 30 m<sup>3</sup> y que el mayor número de usuarios domésticos y comerciales está en el rango de 15 a 35 m<sup>3</sup>. En este grupo el ahorro en costos también es significativo, ya que oscila entre 30 y 50%. Así, de los 50 millones de m<sup>3</sup> al año que consumen los usuarios domésticos y comerciales, se tendría un ahorro estimado en 15 millones de m<sup>3</sup> (cuadro 13). Si el costo de producción de un m<sup>3</sup> de agua en la ciudad es de \$5.20 pesos, ello significa un ahorro de 78 millones de pesos.

Una ventaja de esta propuesta de instalación de aparatos ahorradores de agua, es que partir del año 2003, se aprecia un cambio en la prioridad que tiene el programa de cultura del agua dentro del organismo operador. Durante los años 2000, 2001 y 2002 la prioridad fue garantizar el abastecimiento de agua a la población con la apertura de nuevas fuentes (perforación de pozos cercanos), así como efectuar obras de modernización en la red.

En la actualidad, la prioridad es concluir en el mes de diciembre el programa de micromedición en toda la ciudad, con la instalación de 55,737 medidores faltantes, para un total de 163,930. Después de esta medición, la prioridad es la promoción de la cultura del agua, o dicho en otros términos, el uso más eficiente de la misma.

La propuesta del estudio consiste en cuatro etapas:

1. Iniciar la promoción de los aparatos ahorradores dentro de la estrategia de los “sectores hidrométricos”, la cual es una sectorización de la red para regular la dotación entregada y contar con una presión uniforme por sector. Esta presión es controlada a través de la existencia de una sola entrada del gasto a la red y permite medir el consumo de cada sector. Cada sector comprende entre 1,500 y 4,000 tomas de agua.
2. Instrumentar un programa piloto en cada uno de los 60 sectores en que se divide la ciudad, con 15 usuarios “muestra”, a los cuales se les instalarán los dispositivos para monitorear mensualmente su consumo y sus ahorros en el pago del recibo de agua. Estos usuarios serán denominados “monitores de red”, y tendrán como propósito adicional ser el enlace de campo entre los usuarios y el organismo operador.
3. Después de 6 meses, y con la demostración de los resultados al resto de los usuarios, iniciar la instalación de los aparatos en los sectores que cuentan con medidor, hasta llegar al 100% de cobertura en un periodo de dos años. Una opción sería que el usuario

cubriera el costo del paquete, con descuentos en el recibo de agua durante un año. Una segunda opción sería que el organismo financiara la compra de los paquetes y su pago con facilidades se incluyera en el recibo de agua. La inversión total sería de \$22,684,012 pesos, considerando un precio del paquete de \$130 pesos.

La ejecución de este programa involucraría los actores principales. Entre ellos, al organismo operador y su consejo consultivo, asociaciones de vecinos, cámaras de comercio y hoteles, centros e instituciones de educación, y dependencias gubernamentales. También incluiría a empresas y promotoras inmobiliarias, colegios de arquitectos e ingenieros, asociaciones de ferreterías y casas de materiales, y organizaciones no gubernamentales.

Así, el programa aglutinaría los esfuerzos de distintos actores con beneficios económicos y ecológicos tangibles, que podrían medirse y evaluarse de manera periódica, y que podría reproducirse en otras ciudades del estado.

### 3.4 *Un programa de construcciones acordes al clima*

#### a) *Objetivo del análisis*

La capital del Estado de Sonora, centro urbano de gran dinamismo ubicado en una zona desértica del norte de México, ha experimentado un crecimiento basado en un modelo de urbanización que ha pasado por alto las restricciones ambientales del entorno, generando una oferta habitacional que exacerba la demanda de energía y gasto de agua, con una población en constante aumento.

El presente estudio presenta un panorama de algunas soluciones propuestas de construcción de casa habitación en regiones áridas, con condiciones climáticas similares a las de Sonora. Dichas propuestas de ocupación de los espacios urbanos locales se analizan desde una perspectiva bioclimática, que permite establecer comparaciones con los patrones tradicionales que han regido el ramo de la construcción en Sonora. El fin último del análisis es estimar en qué medida, construcciones más acordes con el clima de la región pueden resultar en ahorros en la demanda de agua, y de energía.

En el estudio se señalan algunos factores que limitan el desarrollo de iniciativas que permitan revertir la preocupante tendencia que muestra el modelo vigente de edificación de espacios habitacionales. Así mismo, se presentan propuestas que permitirían avanzar gradualmente hacia una transformación de las pautas culturales actuales y que contemplen mejores niveles de bienestar social, crecimiento económico y armonía con el medio ambiente.

#### b) *Sobre el crecimiento urbano de Hermosillo*

En los últimos años el rubro de la construcción ha adquirido una atención creciente, particularmente entre los países miembros de la OECD<sup>9</sup>, dado que la cantidad de energía

<sup>9</sup> Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo, por sus siglas en inglés, la cual agrupa a 30 países, entre ellos las mayores potencias mundiales y otras naciones en desarrollo, entre ellas México.

## Adaptación al Cambio Climático

consumida por esta actividad representan entre el 25% y el 40% de la energía final consumida en este bloque de países (OECD, 2003). Los edificios consumen entre el 20% y el 50% de los recursos naturales transformados, dependiendo del medio en donde están situados; la construcción es un gran consumidor de recursos naturales como madera, minerales, agua y combustibles fósiles. Así, los edificios, una vez construidos, continúan siendo una causa directa de contaminación tanto por las emisiones que producen como por el impacto ambiental sobre el territorio y son una fuente indirecta de contaminación en el consumo de energía y agua necesarias para su funcionamiento (Ibidem).

El tipo de presión que ejercen las poblaciones urbanas en términos de demanda de energía y uso de recursos vitales como el agua, se manifiesta de manera diferenciada entre los países. Por un lado, las naciones desarrolladas buscan mantener y acrecentar el conjunto de satisfactores del que gozan sus habitantes, generalmente a costa del deterioro de los bienes de la naturaleza. Por su parte, los países subdesarrollados se ven forzados a hacer un uso exhaustivo de los recursos naturales, sin prever las consecuencias ambientales, económicas y sociales que generan este tipo de prácticas.

La tasa de crecimiento poblacional registrada en el Estado a lo largo de las últimas décadas ha sido ligeramente superior a la media nacional (cuadro 6). Por su parte, la ciudad de Hermosillo observa una tendencia superior.

El acelerado proceso poblacional registrado en estas tierras a lo largo de los últimos 50 años, ha dado lugar al surgimiento de espacios urbanos que desafían las condiciones naturales del entorno desértico y tratan de imponer estilos de vida notablemente influenciados por modelos ajenos a las condiciones extremas de aridez que caracterizan a esta región.

Período	Nacional	Estatal
1950-1960	3.1	4.4
1960-1970	3.4	3.6
1970-1980	3.2	3.1
1980-1990	2.0	1.9
1990-2000	1.9	2.0
Tasa de crecimiento anual de la ciudad de Hermosillo, Sonora	2.6%	

**CUADRO 6 Tasas de Crecimiento Promedio Anual de la población del Estado de Sonora (1950 – 2000)**

Fuente: INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Resultados Definitivos.

Durante los primeros tres siglos de colonización del territorio sonorense, los asentamientos se centraron en torno a sitios estratégicos con acceso a abundantes fuentes de agua a lo largo de la zona serrana, los diseños constructivos se caracterizaron por la utilización de estrategias adecuadas a las condiciones del sitio y se basaron en el aprovechamiento de materiales locales (pétreos, tierras, maderas y otras fibras vegetales). La Figura 2 muestra claramente la transformación operada en los modelos de construcción como resultado directo de la expansión urbana que provocó el “boom” modernizador registrado en torno a los grandes centros de producción agrícola en las zonas costeras del Estado.

Tal como se registra en un reciente trabajo sobre el desarrollo histórico de la urbanización de Hermsillo (Méndez, 2003), un reconocido líder empresarial de los años 40 señalaba que la consigna era pasar a “la era avanzada del concreto”. De esta manera la capital del Estado devino espacio privilegiado para la edificación de obras arquetípicas que estuvieran a tono con los nuevos cantos del desarrollo: la construcción de la presa, los edificios de la universidad, las avenidas principales y la zona residencial de la gente más acaudalada de la ciudad, dieron lugar al florecimiento de todo un concepto arquitectónico que trataría de emular los modelos de urbanización estadounidenses.

Hoy en día el símbolo emblemático del Hermsillo moderno lo constituye una torre de cristal, que recientemente fue erigida en abierto desafío a las más elementales normas de edificación que debieran regir en una ciudad que registra uno de los más elevados niveles de irradiación solar a nivel mundial. Este tipo de modelos constructivos y de diseño de los espacios urbanos, han dado lugar al incremento sostenido de la demanda energética<sup>10</sup> y la explotación irracional de las fuentes de abastecimiento de agua de las que la ciudad dispone<sup>11</sup>, poniendo en riesgo el frágil equilibrio ambiental de esta región del semidesierto.

---

<sup>10</sup> Avizora escasez de electricidad. “El coordinador del Programa de Ahorro de Energía del Gobierno estatal estableció que la capacidad instalada de la Comisión Federal de Electricidad, en el Noroeste, de 2 mil 500 a 2 mil 600 MWtt apenas se ajusta a la demanda... En el 2005 la situación podría cambiar. Podrían, en caso de que no hubiera suficiente electricidad para abastecer, apuntó, presentarse apagones por desabasto, algo que nunca ha ocurrido en Sonora”. (Nota del periódico El Imparcial Domingo 23 de Agosto de 2003)

<sup>11</sup> Por más de 50 años, la presa A. L. Rodríguez constituyó la principal fuente de abastecimiento de agua de la ciudad, sin embargo, el agotamiento de este recurso a llevado a la capital a depender exclusivamente de la extracción de 73 pozos profundos, 49 de los cuales se ubican fuera del área urbana, afectando acuíferos de comunidades vecinas. (Fuente: Agua de Hermsillo)

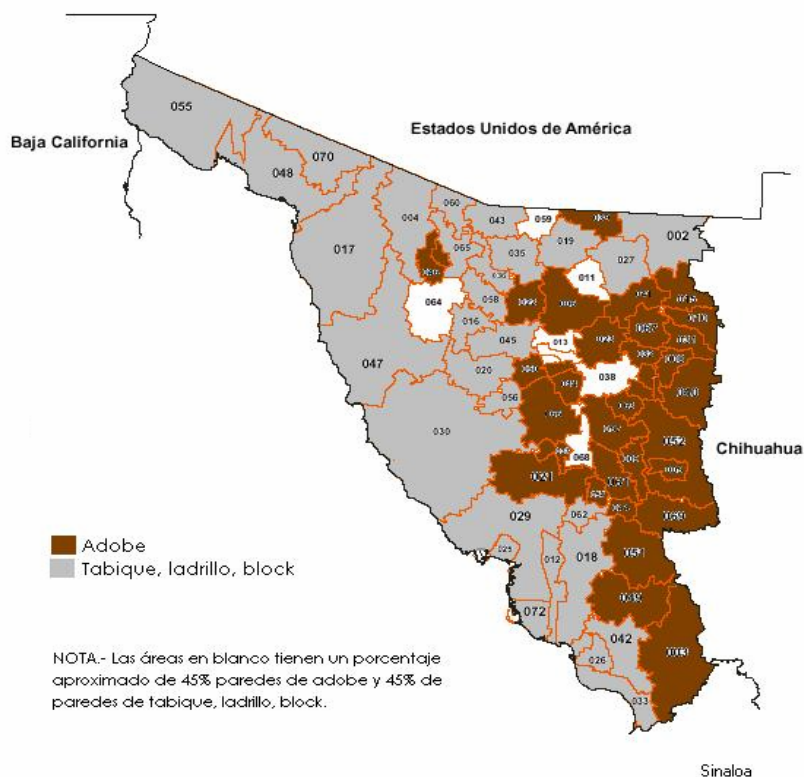


Fig 2.-Mapa del Tipo de Construcciones Predominantes en Sonora por Municipio. Fuente: INEGI, 2000.

Uno de los fenómenos más destacados del crecimiento económico registrado en el Estado es el relacionado con los procesos de urbanización. Durante la última década, el número de casas en Sonora se incrementó en un 40% al pasar de 380,000 viviendas existentes en 1990 a 530,000 en 2001. El ritmo de construcción de casas durante los últimos tres años es casi el doble del registrado hace seis años. Esta expansión es aun mayor en Hermosillo, la capital del Estado.

Así, aún cuando Hermosillo representa únicamente el 27% en términos de población total y número de viviendas, actualmente registra más de 40% de las actividades de construcción de casas en Sonora, y el mismo porcentaje de la inversión pública para la construcción de viviendas (INEGI, 2000). Esta concentración de recursos en la ciudad capital ha debilitado la capacidad de otras regiones sonorenses para satisfacer sus necesidades de vivienda.

De esta manera, un crecimiento urbano estrechamente ligado al proceso de migración rural en Sonora, ha ocasionado un notable déficit, tanto en términos de cantidad como de calidad de las viviendas de tipo social que la industria de la construcción ofrece hoy en día a la población del estado. Los datos del tipo de materiales utilizados por la industria de la construcción dan cuenta de

las principales tendencias observadas en términos de materiales utilizados (Fig. 3). La predominancia de ladrillo y el *block* en los esquemas constructivos, así como los prototipos de vivienda existentes, lejos de considerar las necesidades térmicas bajo un clima extremo, incrementan notablemente la demanda de energía y gasto de agua en los hogares hermosillenses.

Lamentablemente, los desarrolladores de vivienda social en Sonora no han mostrado interés alguno en el tema del confort básico de los espacios habitacionales destinados a la gente de escasos recursos económicos. La industria constructora depende de materiales comerciales que a lo largo de los años han demostrado ser ambientalmente inadecuados para la región desértica, degradantes de los recursos naturales y factores de riesgo de la salud de la población.

Actualmente, Hermosillo no cuenta con ningún código oficial para el uso de materiales locales alternativos –como adobe, paja, tierra, arena, materiales reciclables, etcétera - para la construcción de casas o edificios, y las políticas de fomento tecnológico e impulso a la capacidad instalada para desarrollar modelos de construcción de carácter sustentable es aún limitada, o bien se encuentra dispersa y fuera de las posibilidades económicas de la población que requiere utilizarla.

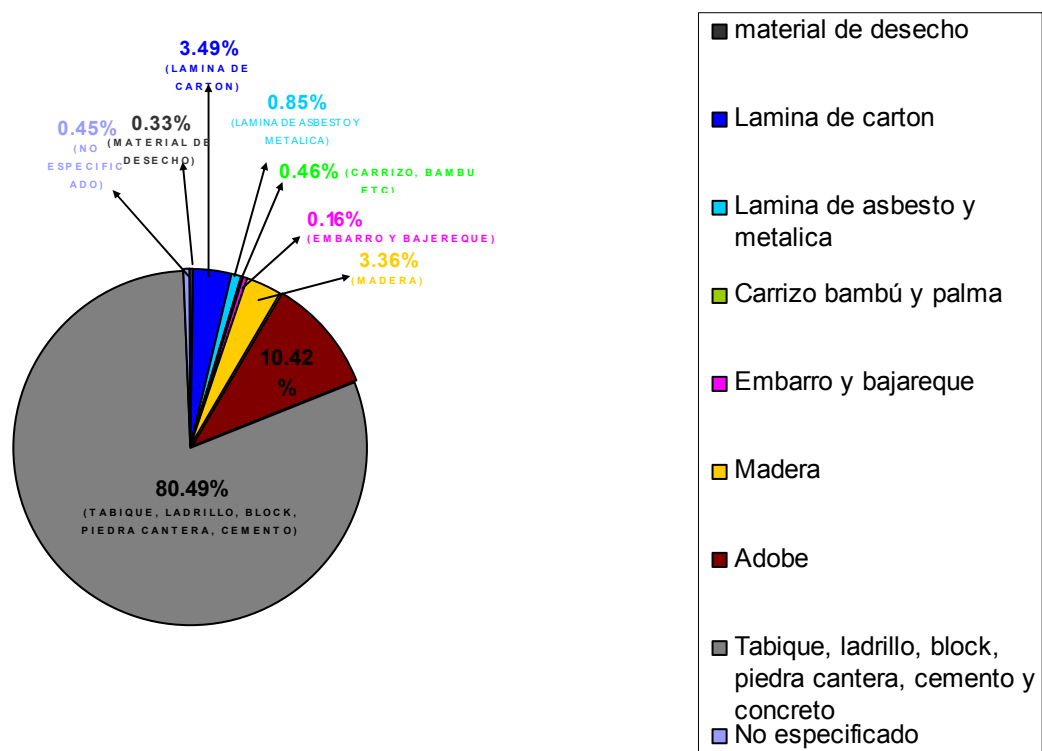


Fig.3.- Tipo de materiales utilizados en paredes de casas en Sonora Fuente: INEGI 2000

## Adaptación al Cambio Climático

No obstante, con todo y las notables limitaciones que enfrentan las iniciativas dirigidas a la construcción de viviendas ambientalmente orientadas, ciertos estratos de la población hermosillense han mostrado interés por encontrar opciones que les garanticen mejores condiciones de vida (Fig. 4).

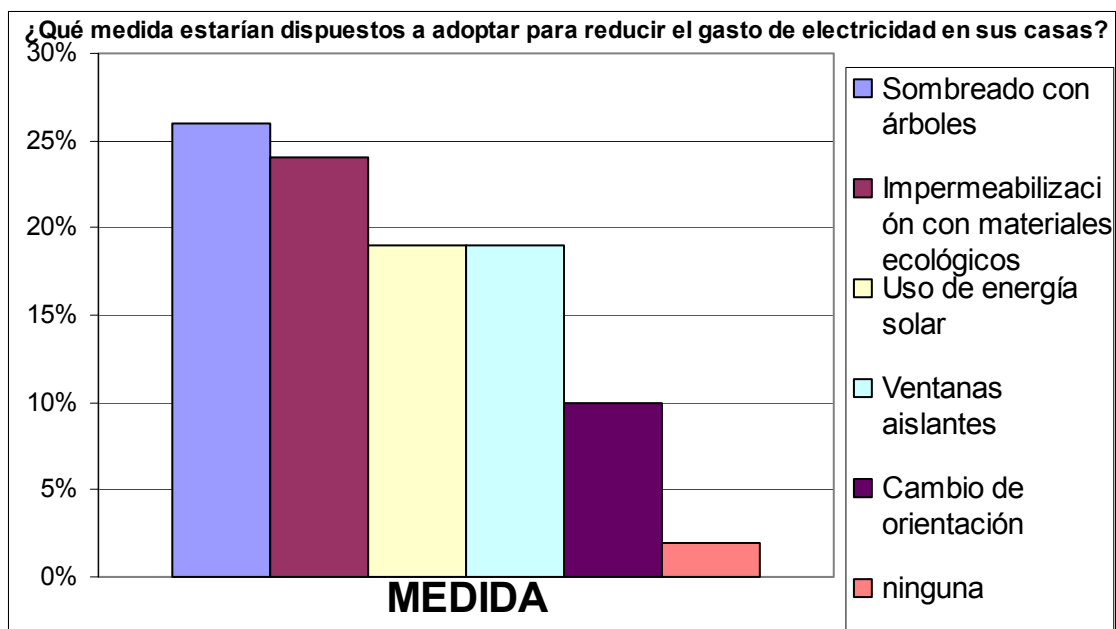


Fig 4.- Encuesta de Percepción de las Condiciones de Vivienda en Hermosillo (2003)

Los resultados de la encuesta realizada en 20 colonias de la capital con distintos niveles de ingreso, dan cuenta de la preocupación de los habitantes locales por acceder a sistemas constructivos que se reflejen en un ahorro real en el gasto de los servicios básicos como agua y luz eléctrica (Fig. 5).

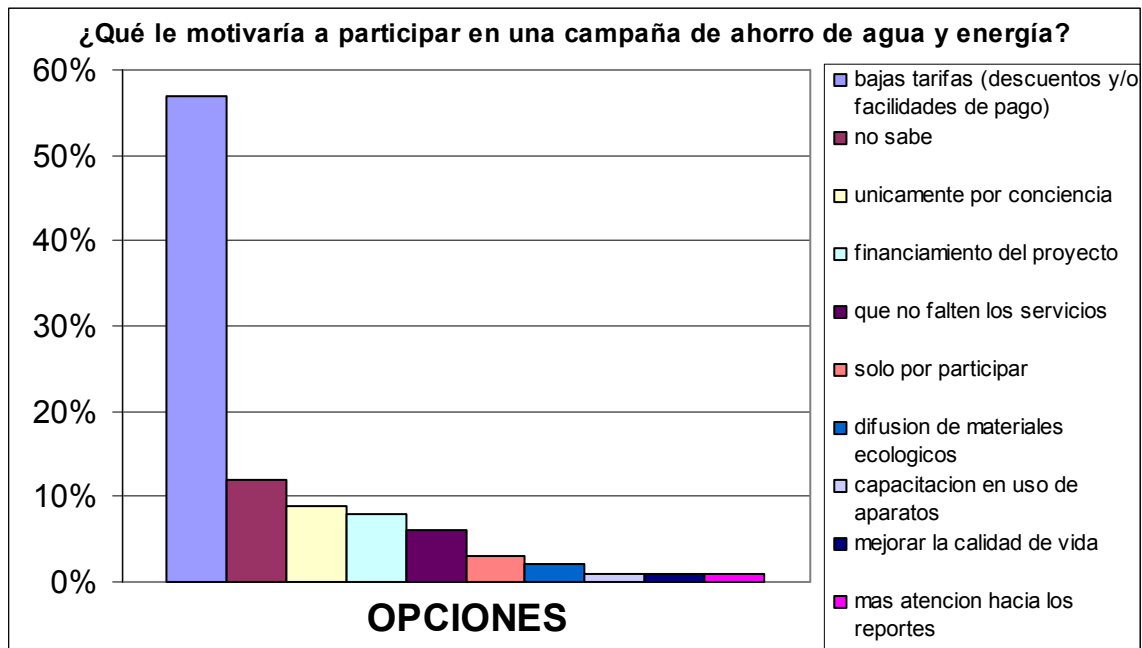


Fig. 5.- Encuesta de Percepción de las Condiciones de Vivienda en Hermosillo (2003)

c) *La construcción bioclimática en regiones áridas.*

i) Experiencias exitosas en el mundo

En muchos lugares las poblaciones han logrado conservar el vasto conocimiento transmitido de generación en generación que les permitió vivir en armonía con el medio. En el caso de las zonas áridas, miles de años de experiencia acumulada han hecho posible el desarrollo de esquemas de construcción utilizando materiales locales, acompañados de métodos de climatización utilizando energía derivada del entorno, así como la disposición de espacios de habitación y trabajo que han sabido armonizar con elevadas expresiones artísticas.

En años recientes, una gran diversidad de iniciativas ha buscado rescatar y sistematizar estas formas de convivencia bajo las condiciones extremas que presentan los desiertos del mundo. La utilización de estrategias de adaptación al medio muestra desarrollos en las formas, la orientación, la utilización de plantas, sistemas energéticos pasivos, el uso de materiales naturales y reciclados, etcétera.

Diseños urbanísticos para ciudades del desierto han sido propuestos partiendo de una visión integradora de los espacios, los recursos y las necesidades de los habitantes, tal es el caso de la comunidad Neve-Zin en el desierto del Negev (Pearlmutter, 2000) y de la comunidad Civano en el desierto de Sonora (Moody, 2003). En ambos casos, se ha otorgado una alta prioridad al ahorro de agua y energía, el uso de tecnologías amigables con el entorno y la creación de condiciones que

permitan armonizar el conjunto de relaciones interpersonales.

Por otra parte, es posible constatar un extenso movimiento que busca aportar fórmulas creativas a los problemas que plantea la edificación en el mundo actual, teniendo como principio el atenuar los impactos ambientales, ávida cuenta de las amenazas que representa la creciente demanda de fuentes de energía no renovable y el derroche y contaminación de las reservas de agua a nivel mundial.

Dentro de esta corriente se inscriben una gran cantidad de trabajos identificados genéricamente bajo el término de Construcción Sustentable, los cuales abarcan no sólo los edificios propiamente dichos, sino que también toman en cuenta el entorno y la manera cómo se integran para formar los espacios. Desde esta perspectiva, la prioridad es crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente y que proporcione recursos urbanísticos adecuados, no sólo en cuanto a las formas y la eficiencia energética y del agua, sino también por su funcionalidad, como un lugar que sea mejor para vivir.

Los ejemplos abundan en la literatura; desde las casas bioclimáticas experimentales de Etzion House (Etzion, 1994) de la Universidad Ben Gurión y el proyecto *House Energy* de la Universidad de Arizona (Chalfoun 2000), hasta las ingeniosas construcciones bajo tierra (Roy 1994) o energéticamente autosuficientes (Potts 1993), y las prácticas casas de pacas de paja en Sonora (Martínez 2002).

La preocupación central en todos los casos ha sido reducir la demanda de energía y los consumos de agua, sin afectar los niveles de confort de los usuarios de este tipo de viviendas. El éxito de este tipo de alternativas radica en el hecho de que en el interés por armonizar la relación de las poblaciones humanas con la aridez de los desiertos, se han logrado transformar las condiciones aparentemente hostiles de los mismos, en un rico conjunto de recursos que permiten aprovecharlos en beneficio de sus habitantes.

### ii) El caso de la Ciudad de Hermosillo

La capital del Estado de Sonora, ubicada en la región noroeste de México, carece de modelos de construcción orientados a la optimización en el uso de agua y energía mediante diseños y materiales adecuados a las condiciones climáticas locales. En el presente trabajo se presentan tres distintos estudios que permiten intentar una aproximación a este fenómeno, mediante la utilización de herramientas de construcción bioclimática pertinentes para una ciudad del desierto mexicano.

En las siguientes líneas presentaremos algunas especificaciones de cada uno de los casos, así como los principales resultados obtenidos.

*Caso 1.- La Casa Ecológica del Vaquero.*

Esta casa forma parte de un proyecto piloto coordinado por el autor y llevado a cabo con el apoyo de la Universidad de Sonora y la Unión Ganadera Regional de Sonora. El proyecto está destinado a adaptar e innovar ecotécnicas de construcción que han sido probadas en otras partes del mundo y que han demostrado ser compatibles con el objetivo de ahorro de agua y energía en las viviendas.

La casa (Fig. 6) cuenta con 95 metros cuadrados de construcción y la base de su diseño es la utilización de pacas de paja de trigo, esquilmo abundante de la agricultura local, que en su mayor parte es quemado como gavilla con los consecuentes problemas ambientales que ello genera.

Concepto	Viviendas de Interés Social en Hermosillo	La Casa Ecológica del Vaquero
Tiempo de Construcción	4-5 meses	2 meses
Costo de Construcción	\$ 155,000.00 (Casa de 35m <sup>2</sup> )	\$ 95,000.00 (Casa de 95 m <sup>2</sup> )
Costo por M <sup>2</sup>	4,428.00	1,000.00
Necesidades de equipamiento	Cooler de 3,000 a 4,500 ó Refrigeración	Abanico ó Cooler portátil
Mano de Obra	Personal especializado	Autoconstrucción
Costo ambiental	Elevado: Producción de CO <sub>2</sub> , Consumo de hidrocarburos, residuos tóxicos	Mínimo: Solo se utilizan materiales biodegradables
Factor de aislamiento térmico	R 5	R 56
Aislamiento acústico	Pobre	Alto
Valor comercial	Constante	Relativo

**CUADRO 7** Análisis Comparativo entre la Casa Ecológica del Vaquero y las Viviendas de Interés Social Construidas en Hermosillo.

## Adaptación al Cambio Climático

La Casa Ecológica del Vaquero se terminó de construir y está habitada desde el mes de Julio de 2002 por una familia integrada por cuatro personas. A partir de entonces, se han venido monitoreando diversos aspectos relacionados con la vida cotidiana de sus habitantes y sus necesidades de confort.

Entre los aspectos más sobresalientes, destaca sin duda el aprovechamiento registrado en el uso del agua. La instalación de un sencillo sistema de recuperación, filtrado y re-bombeo mediante energía solar, de las aguas grises provenientes de la ducha, el lavamanos y el lavadero de la casa, permite reciclar un volumen promedio de 2000 litros de agua al mes, el cual es utilizado en el riego de las áreas verdes de la casa.



Fig 6.- La Casa Ecológica del Vaquero (Hermosillo, Sonora, 2003)

De esta manera, es posible afirmar que el ahorro por concepto de uso de agua en esta casa demostrativa asciende a alrededor del 65% del consumo de una casa promedio en Hermosillo<sup>12</sup>. Adicionalmente, el hecho de que la demanda de climatización interna es mínima, debido a la masa térmica de las paredes exteriores, sólo se utiliza un pequeño *cooler* portátil y un abanico, por lo que se evita el gasto de agua que requieren los grandes aparatos evaporadores utilizados en casas de las mismas dimensiones en la ciudad.

La estimación de la eficiencia térmica de esta construcción resulta uno de los objetivos centrales de su estudio. La demanda de energía para climatizar el interior de la casa está en función tanto del comportamiento de los materiales utilizados en su construcción, como de la efectividad de los criterios bioclimáticos con la que fue concebida. Dentro del conjunto de estrategias implementadas para lograr un comportamiento adecuado de esta edificación se destacan la orientación de la misma, su forma y altura, el tipo de materiales, los sistemas de ventilación y

<sup>12</sup> Según datos del Organismo Operador de Agua de Hermosillo, el consumo por concepto de regadera, lavadoras, cooler y riego de jardines en la ciudad representa alrededor del 65% del consumo total promedio en casas Fte: Agua de Hermosillo ([http://www.agua.gob.mx/home/contenido/cultura/index\\_05.html](http://www.agua.gob.mx/home/contenido/cultura/index_05.html).)

sombreado, las aberturas al exterior, etcétera.

Como elemento comparativo, se muestra la Figura 7 con el comportamiento de la temperatura interior durante el verano del año 2001 de una casa habitación de la ciudad de Hermosillo que fue construida con materiales comerciales de uso común en la región (Ponce 2003).

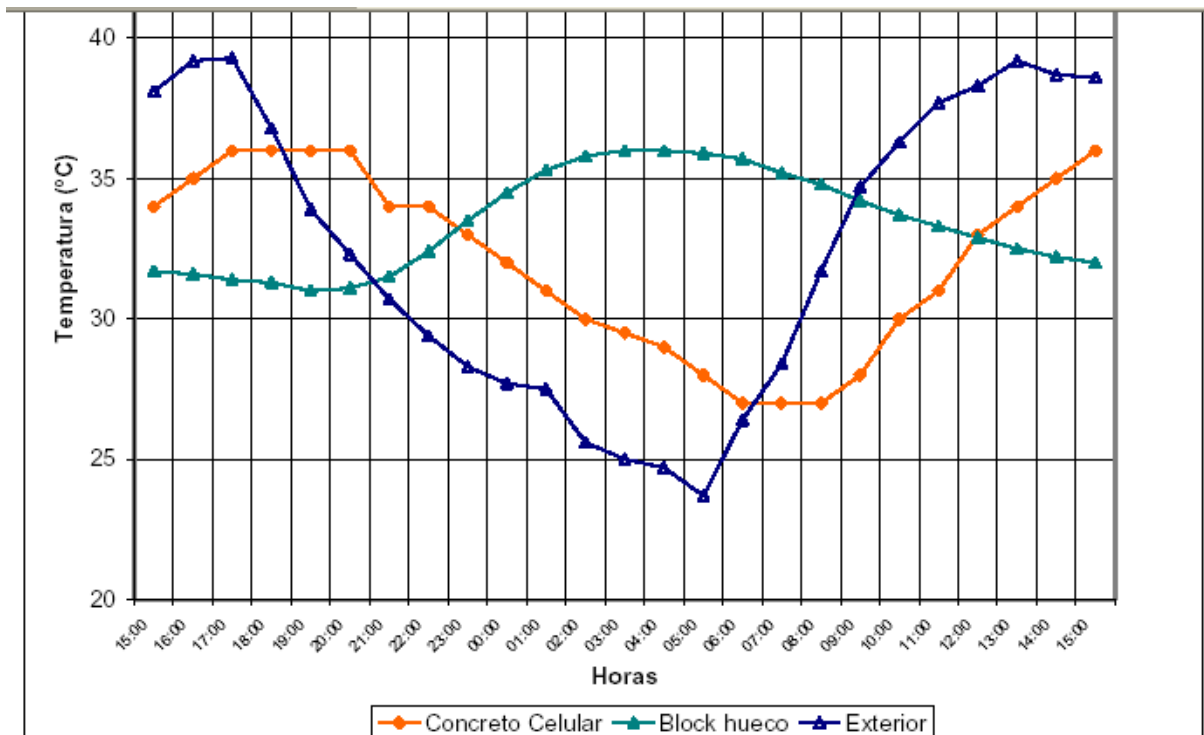


Fig. 7.- Comportamiento térmico de Block de Cemento y Concreto Celular Bajo Temperaturas de Hermosillo (Junio, 2001). Fuente: PONCE, A. 2003

Por otra parte, la Figura 8 muestra los resultados de un monitoreo realizado en La Casa Ecológica del Vaquero durante los días más críticos del verano de 2003, en el cual se observa el comportamiento de la temperatura ambiente en el interior de la vivienda como respuesta a los altos registros del calor externo.

Como se aprecia, la oscilación de las curva de temperatura mostradas por *block* y *pacas* difieren notablemente. Mientras que el *block* concentra su punto de mayor temperatura en la hora más fresca del día, la paja presenta comportamiento casi constante a lo largo del día, lo que explica

la baja demanda de energía para el acondicionamiento térmico de este tipo de construcciones.

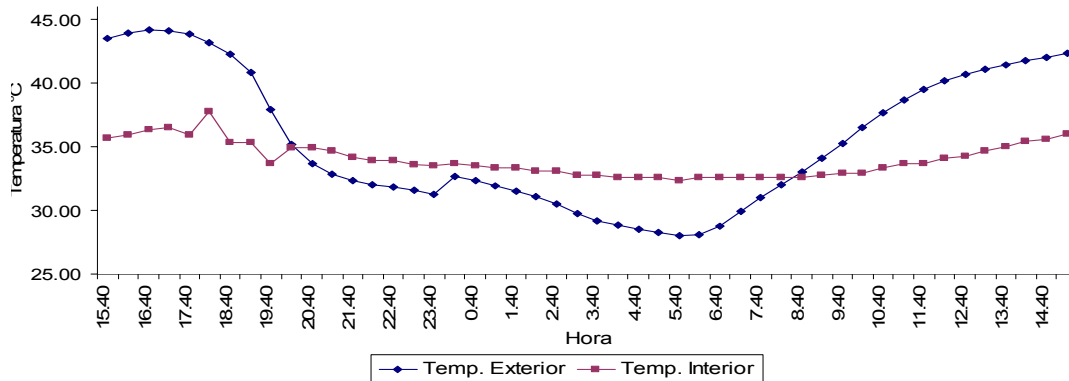


Fig. 8.-Resultados del Monitoreo de la temperatura en La Casa Ecológica del Vaquero (Junio, 2003)

### *Caso 2.- Escudo Térmico para una Casa Hermosillense.*

El segundo ejemplo de adaptación a las condiciones climáticas de la región orientado a reducir el consumo de energía en una casa-habitación, lo constituye una modificación practicada en una vivienda media ubicada en el área central de la ciudad. La casa se ubica en la Colonia Modelo y constituye una edificación de 240 metros cuadrados de construcción, con orientación Noreste-Suroeste y fachada principal al sur. Esta vivienda es habitada actualmente por tres personas adultas.

En este caso la estrategia utilizada se centró en proteger los muros de lado poniente de la casa mediante dos sistemas :

- a) Colocación de una cochera construida a base de madera, carrizo y tierra que proyecta sombra durante las horas de la tarde.
- b) Levantamiento de una pared a base de pacas de paja de trigo, sobrepuesta al muro de ladrillo preexistente.

Ambas modificaciones se realizaron a principios del año 2002 y tuvieron un costo total de \$ 7,500.00 pesos.

La evaluación de ambas estrategias comprendió dos tipos de parámetros. Por una parte se

analizó el comportamiento del consumo registrado en la casa tanto en términos de KW/hora como en costo de la energía, considerando directamente los recibos oficiales emitidos bimensualmente por la Comisión Federal de Electricidad.

Por otra parte, en el verano de 2003, se monitoreó la temperatura interior y exterior, tanto de los muros protegidos como de un muro de ladrillo de la casa ubicado en la misma posición, el cual se utilizó como testigo. Los resultados de este monitoreo se muestran en la Figura 9.

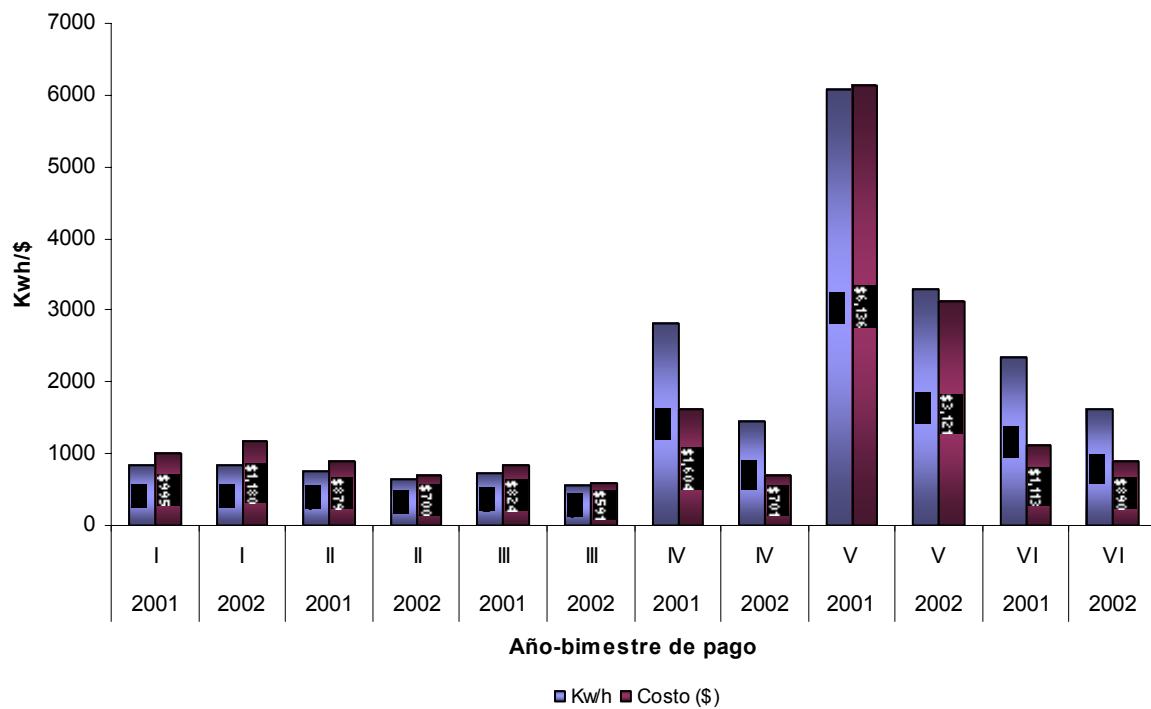


Fig. 9 Consumo y gasto en energía en casa con escudo térmico

Como se observa, la reducción tanto en el consumo de energía como en el costo de la misma se redujo prácticamente a la mitad entre un año y otro. La drástica reducción permite estimar una recuperación del costo de la inversión en el plazo mínimo de dos años.

Por otra parte, los resultados del monitoreo de los muros se llevó a cabo el día 15 de Junio de 2003 en tres diferentes horarios, utilizando para ello un termómetro especial que mide emisión de radiación infrarroja lo que permite estimar la temperatura de las superficies (Fig. 10).

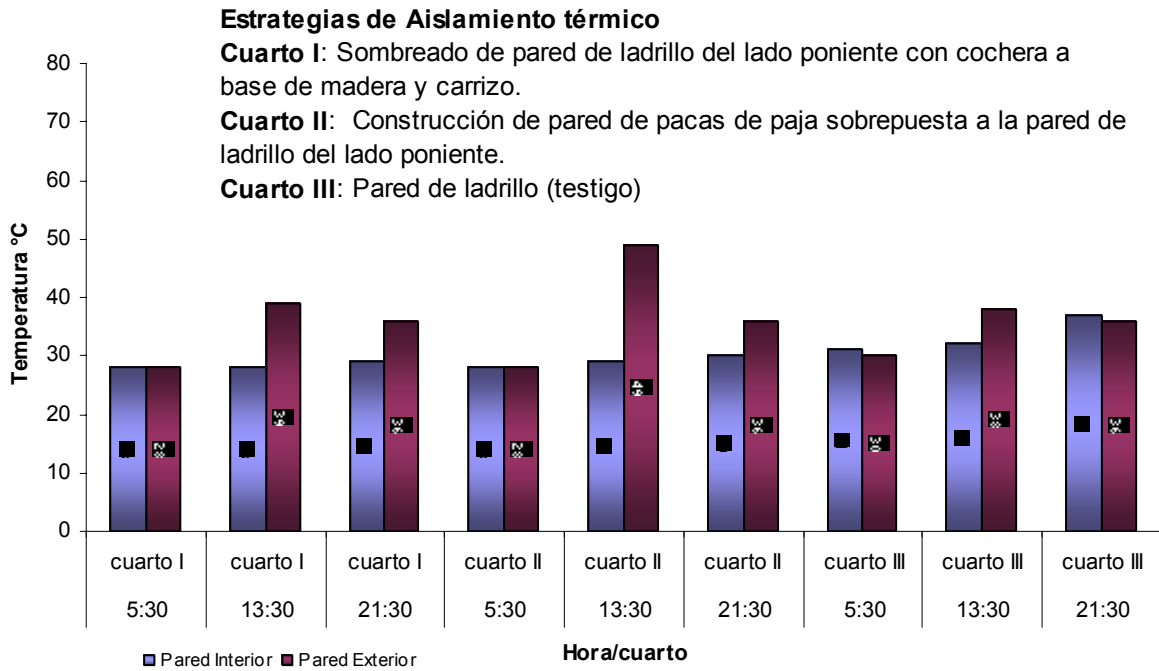


Fig. 10.- Monitoreo de Temperaturas en Paredes de Casa con Escudo Térmico

Como se puede apreciar, la pared que recibe la sombra que proyecta la cochera observó el comportamiento más homogéneo, destaca asimismo el desempeño del muro de ladrillo protegido con pacas, el cual registró en horas extremas un diferencial de temperaturas de hasta 20 grados entre el exterior y el interior.

Por su parte, el muro testigo da cuenta de un ineficiente comportamiento térmico, lo cual resulta típico en las paredes de la mayoría de las casas de la ciudad y que explican las altas demandas de energía para la climatización que demandan las viviendas construidas en Hermosillo.

*Caso 3.- Comparación Virtual de Optimización Energética en 3 Distintos Modelos de Casas en Hermosillo.*

Con el fin de llevar a cabo la aplicación de uno de los modelos más novedosos de simulación energética de edificios, desarrollado recientemente en los Estados Unidos<sup>13</sup>, se analizó el comportamiento de tres casas-habitación bajo las condiciones climáticas de la ciudad de Hermosillo. En el primer caso se trata de una vivienda tradicional que fue construida en los años 70 bajo los parámetros que guiaron la construcción de viviendas de interés social de esa época.

<sup>13</sup> El modelo de simulación ENERGY-10 es componente de un programa de cómputo del proyecto denominado “Diseñando Edificios de Baja Demanda de Energía” el cual fue conducido por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, con la participación del Consejo de la Industria de la Construcción Sustentable, el Laboratorio Nacional de Energía Renovable, el Laboratorio Nacional de Lawrence Berkeley y el Grupo Solar de Berkeley.

Las otras dos casas son virtuales y constituyen propuestas arquitectónicas guiadas por criterios bioclimáticos para la optimización energética<sup>14</sup>; una de ellas fue diseñada con materiales biodegradables (pacas de trigo, barro, madera y carrizo) y en la otra se propusieron materiales comerciales que presentan propiedades de termicidad adecuadas a las condiciones extremas del clima local.

Denominamos Casa Tradicional a la primera, Casa Natural a la segunda y Casa Eficiente a la tercera<sup>15</sup>.

Como se observa en la Figura 11, el comportamiento de la demanda energética de las casas diseñadas de manera bioclimática contrasta notablemente con la casa tradicional. De esta manera, a pesar de que el área total de la casa tradicional (112.5 m<sup>2</sup>) es inferior a las casas virtuales (172.0 m<sup>2</sup>), es posible observar un consumo de energía prácticamente igual (+/- 22,000 KW/H al año).

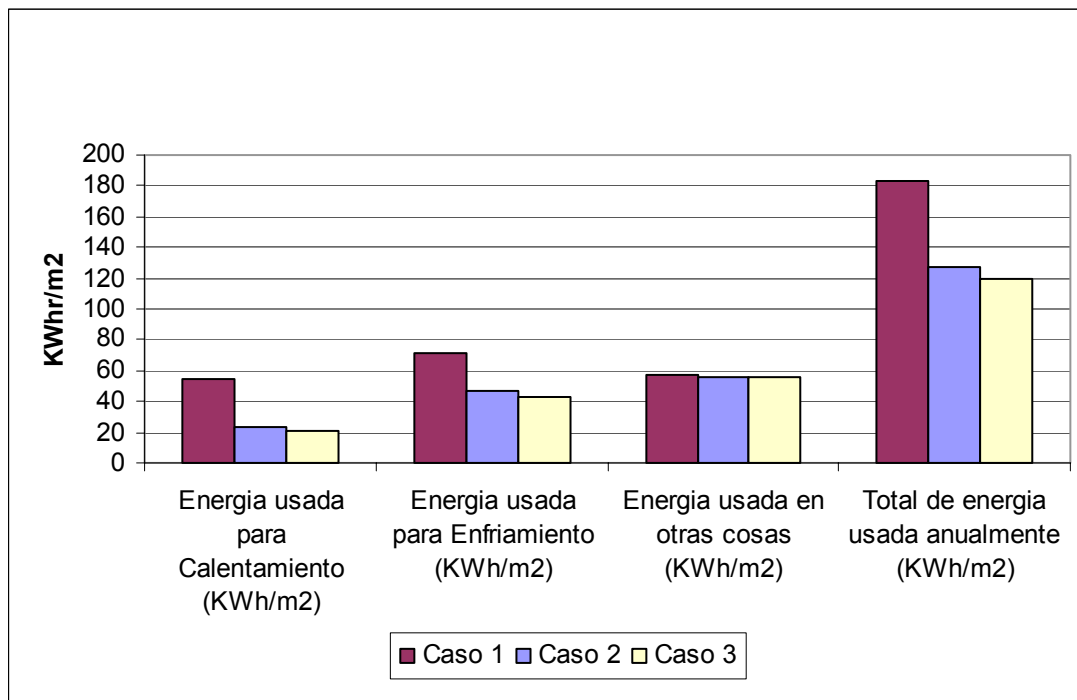


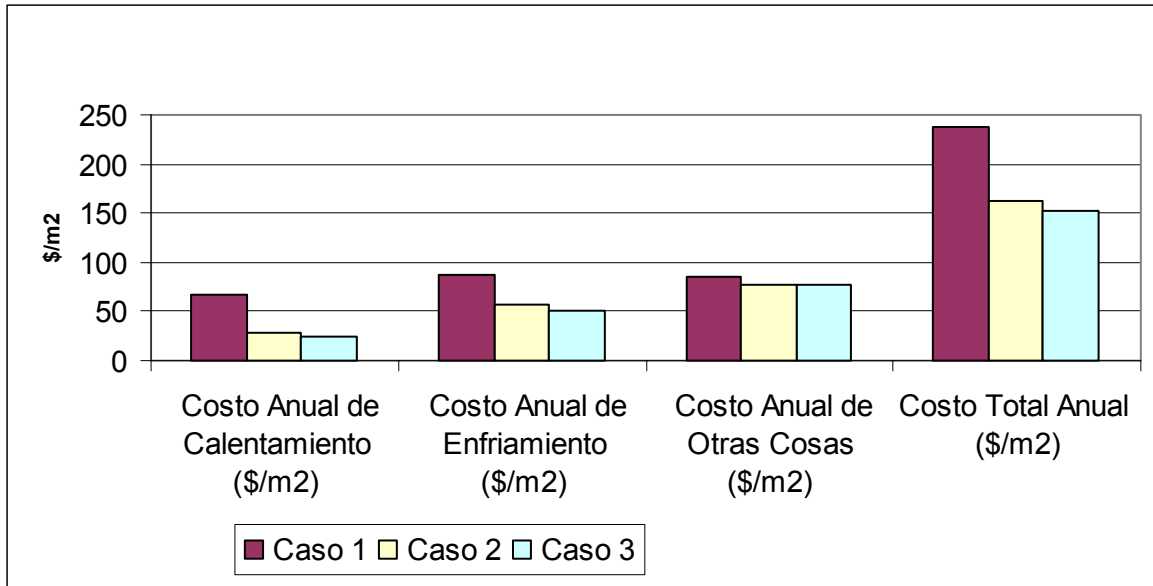
Fig. 11.-Comparación de Uso de Energía en tres Casas de Hermosillo, Aplicando el Modelo de Simulación Energy-10.

Así pues, si se compara este consumo con el área construida se tiene que la casa tradicional demanda un gasto de energía 43 % mayor, lo que supone al mismo tiempo un incremento en el costo de alrededor del 48 % por unidad de superficie, de acuerdo con las tarifas actualmente vigentes de la Comisión Federal de Electricidad (Figura 12).

<sup>14</sup> Entre estos destacan: la orientación de la casa, dimensiones de los muros según exposición solar, aberturas al norte y al sur, vegetación de sombra, secciones semienterradas, etcétera.

<sup>15</sup> Un análisis detallado del estudio realizado puede ser consultado en el Apéndice II de este trabajo.

Cabe hacer notar el hecho de que la confiabilidad del modelo pudo comprobarse, al verificar la coincidencia entre los valores de consumo energético que arroja este sistema con los consumos mensuales reales que registra la casa tradicional a lo largo del año.



Caso 1: Casa Tradicional, Caso 2: Casa Natural, Caso 3: Casa Eficiente

Fig. 12.- Comparación del Costo Total Anual de Energía Usada en tres Casas de Hermosillo, Aplicando el Modelo de Simulación Energy - 10.

Un resultado sumamente interesante que arroja la aplicación del modelo de simulación Energy -10, esta relacionado con el flujo neto de pérdida y ganancia de calor que registran las casas a lo largo del año. Este factor constituye uno de los elementos clave para explicar las demandas de acondicionamiento térmico requerido por los espacios habitacionales en la ciudad de Hermosillo.

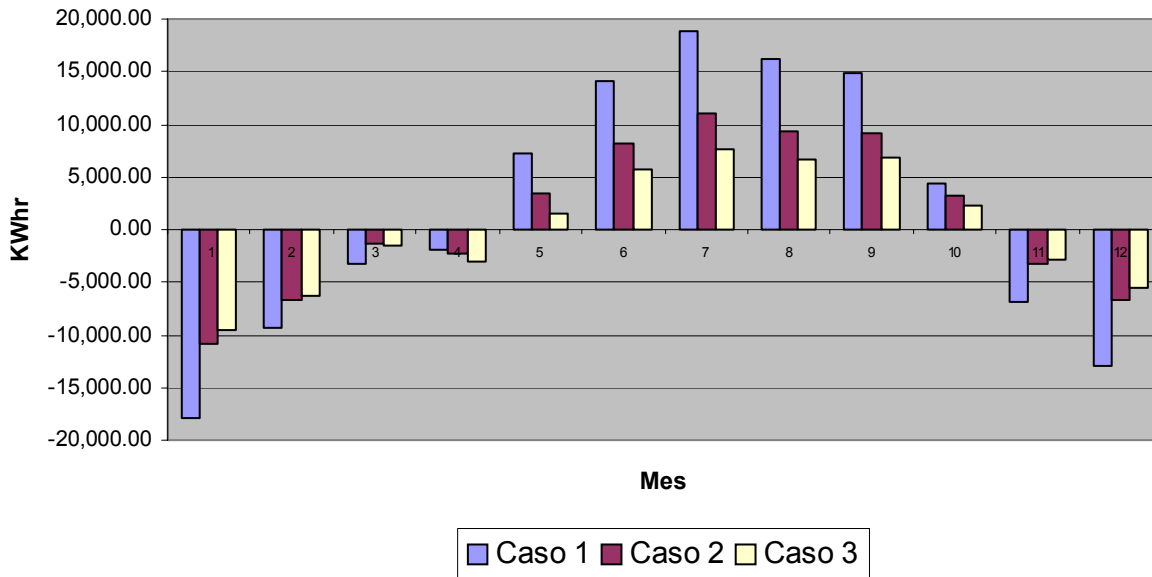


Fig. 13 Comparación del Flujo Neto de Calor en tres casas de Hermosillo, aplicando el Modelo de simulación Energy 10.

En la Figura 13 se puede observar que las casas tradicionales tienden a perder una mayor cantidad de calor durante el invierno e, inversamente, a ganar mayores niveles de temperatura durante el verano. Por el contrario tanto la casa natural como la eficiente mostraron un comportamiento moderado en ambos casos, esto explica la menor demanda de energía requerida, tanto para calentar como para enfriar este tipo de viviendas.

f) *Desafíos de los nuevos paradigmas de construcción en Hermosillo*

i) *Los retos*

El estilo de crecimiento registrado en la historia reciente de Sonora, ha tenido un impacto directo en la industria de la construcción. Como se ha señalado más arriba, los índices de desempeño de esta rama productiva, muestran un incremento constante, aún cuando la demanda habitacional de los sectores de bajo ingresos de la población está lejos de ser atendida.

Las graves restricciones de acceso a recursos financieros por parte de los trabajadores que obtienen un ingreso inferior a los tres salarios mínimos mensuales - los cuales representan nada menos que el 70% de la población - han constituido una severa limitante para satisfacer las necesidades de vivienda de los sectores mayoritarios de la sociedad<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> De acuerdo a los datos del Gobierno del estado existe una un rezago acumulado en Sonora en la materia que se aproxima a las 57,000 viviendas anualmente. (COPROVI 2002)

Pero mas allá de los resultados cuantitativos, para los propósitos de este trabajo interesa la calidad constructiva de los espacios habitacionales orientados a atender la demanda de la población más vulnerable. En este terreno, tanto los proyectos arquitectónicos de las empresas privadas, como los programas de gobierno de las entidades públicas, adolecen de graves deficiencias.

En el interés por maximizar las ganancias, las empresas constructoras edifican en base a diseños y materiales que, además de agudizar las condiciones térmicas extremas de la región, constituyen una grave amenaza ambiental en sus procesos productivos (Natalini, M y D. Klees, 2000).

Por otra parte, el marco normativo que rige a esta industria, se muestra notablemente obsoleto<sup>17</sup>. En el caso del Reglamento de Construcción de la ciudad de Hermosillo, es de señalarse la inexistencia de especificaciones en cuanto a la utilización de un recurso estratégico en esta región como lo es el agua, así como en relación a la optimización de energía eléctrica o el aprovechamiento de fuentes alternas de energía.

Precisamente en virtud de los graves vacíos que existen en el ámbito de las leyes, reglamentos y códigos de construcción para la ciudad de Hermosillo, las iniciativas tendientes a innovar los diseños y tipos de materiales constructivos, se ven limitadas en su aplicación debido a la serie de restricciones que observa el marco normativo para este tipo de propuestas.

Al mismo tiempo, las posibilidades de adaptar sistemas probados en otras regiones con condiciones climatológicas semejantes, lejos de contar con algún esquema de estímulos, encuentran restricciones de todo tipo y se ven forzadas a transitar por vías marginales.

La preocupación en torno a un mejor aprovechamiento de las fuentes de energía y una mayor racionalidad en los usos del agua por parte de la rama de la construcción en Sonora, enfrenta entre sus principales obstáculos la adopción de estrategias efectivas de adaptación a las condiciones del medio ambiente por parte de la población.

Producto sin duda de un proceso migratorio relativamente reciente, los actuales pobladores de estas zonas desérticas, intentan reproducir modelos habitacionales no solo ajenos, sino además contrarios a los patrones climáticos existentes, lo que revela las dimensiones del choque cultural que vive una sociedad en plena expansión, como es el caso de Hermosillo, en abierta contradicción con su entorno.

El fenómeno es indicativo a su vez de la escasa atención prestada por las entidades institucionales de los sectores público, social y privado en el sentido de generar modelos alternativos de construcción de vivienda, que además de resultar ambientalmente adecuadas, sean accesibles económicamente y garanticen mejores nivel de vida a sus ocupantes.

Un aspecto que no puede ser pasado por alto, es el relacionado con las conocidas

<sup>17</sup> Proponen nueva Ley para abatir el rezago. “El presidente de la Comisión de Vivienda de la Cámara de Diputados expuso que el marco legal en la materia data de hace 18 años y está rebasado porque no existe una regulación sobre constructoras de vivienda popular que en gran número de casos defraudan con obras de pésima calidad y un costo muy alto”. (Nota del periódico El Imparcial, Domingo 22 de Junio de 2003).

Un aspecto que no puede ser pasado por alto, es el relacionado con las conocidas expresiones de rechazo social hacia aquellos cambios que significan una modificación drástica de los estilos de vida tradicionalmente aceptados, o bien que atentan contra valores establecidos.

En este sentido, la adopción de diseños y materiales alternativos constituye un proceso que debe ser capaz de demostrar fehacientemente resultados y ventajas antes de aspirar a ser considerado como una opción real por parte de la población.

La inexistencia de políticas públicas o iniciativas privadas enfocadas a alentar este tipo de construcciones constituye una importante barrera que impide su desarrollo.

Atrapada en medio de una compleja red de intereses económicos y enfrentada a la necesidad de dar respuestas a demandas inmediatas y de corto plazo, la gestión de recursos públicos en favor de programas estratégicos de largo alcance y mayor equilibrio resulta hasta ahora impensable.

Adicionalmente, es necesario hacer notar, el escaso desarrollo tecnológico que muestra el campo de los estudios bioclimáticos en la región. En la actualidad, es posible afirmar que tanto la escasez de cuadros científicos y técnicos calificados, como la carencia de registros históricos confiables acerca del comportamiento climatológico regional dificultan avanzar adecuadamente en el desarrollo de propuestas sólidas y de aplicación general para la industria.

El círculo vicioso que crea la carencia de estímulos a la investigación básica y aplicada en esta área, explica el que los pocos esfuerzos que actualmente se registran resulten aislados y notoriamente insuficientes.

La falta de mecanismos de difusión y promoción que alienten un uso más racional del agua y la energía tanto en la producción de los insumos de esta rama, como a lo largo de las diversas fases del proceso de construcción y a lo largo de la de vida útil de las edificaciones, redundan en una escasa conciencia comunitaria en torno a la necesidad de crear una relación más armónica con el medio ambiente a través de un consumo responsable de los recursos no renovables.

## *ii) Las oportunidades*

Las dificultades crecientes que enfrentan los organismos gubernamentales para mantener los elevados niveles de subsidio que ha caracterizado tanto el suministro de energía<sup>18</sup> como el abasto de agua<sup>19</sup> en la ciudad de Hermosillo, permiten prever en los próximos años un mayor énfasis en el diseño de políticas públicas orientadas a resolver estos temas centrales de la agenda por un desarrollo más equilibrado.

<sup>18</sup> Fuerza CFE ahorro de Energía. “A fuerzas, los sonorenses bajaron hasta en un 20% sus consumos de energía eléctrica, como consecuencia del incremento de las tarifas en el 2002. Y aunque el Gobierno Federal dio reversa a principios de este año y regresó las tarifas a niveles del 2001, los consumos no se recuperaron. Mario Morúa Castañeda, coordinador del Programa de Ahorro del Energía del Gobierno del Estado, indicó que en el 2001 se vendieron 2 millones 285 mil 811 megawatts por hora en el servicio doméstico para Sonora, mientras que al año siguiente, cuando el Gobierno federal redujo los subsidios al mínimo, la comercialización bajó a 2 millones 249 mil 969 Mwh”. (Nota del periódico El Imparcial Lunes 24 de Agosto de 2003).

<sup>19</sup>Subsidios. “El Gobierno federal ha anunciado que eliminará subsidios al agua en el País a entidades que tienen capacidad de pago para el servicio que se les otorga. Según el secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Víctor Lichtinger, quien este retiro de apoyos forma parte de un cambio radical en la política subsidiaria seguida hasta ahora, y que propiciará que las ciudades exijan cobros justos a sus habitantes. (Nota del periódico El Imparcial 21 de Noviembre de 2002).

En este sentido, resultaría de mayor relevancia empezar a establecer desde ahora esquemas de colaboración entre las instituciones académicas, las diversas instancias de gobierno, las asociaciones gremiales y las empresas constructoras y proveedoras de materiales, con el objetivo de conjuntar esfuerzos en torno al diseño, validación e instrumentación de programas piloto de construcción de viviendas y otro tipo de edificaciones, enfocadas a optimizar el uso del agua y la energía en las mismas.

Al mismo tiempo, resulta necesaria la creación de un organismo certificador que permita determinar de una manera confiable, la eficiencia (o ineficiencia) térmica de una amplia tipología de casas y edificios, así como una valoración adecuada de las distintas propiedades que ofrecen los materiales de construcción, tanto aquellos que actualmente existen en el mercado, como los que empiezan a desarrollarse de manera alternativa.

Esto permitiría tanto a las empresas de la rama de la construcción como a las compañías inmobiliarias, contar con parámetros adecuados de información para establecer criterios de diseño más acordes con las condiciones climáticas presentes.

Lo anterior haría posible avanzar de una manera consistente en la elaboración e implementación de códigos de construcción que contemplen aspectos de carácter ambiental para las edificaciones en el Estado, un aspecto que hasta hoy ha constituido letra muerta en el ámbito institucional.

Por otra parte, es recomendable poner en marcha una campaña de sensibilización pública en torno a nuevos esquemas constructivos y el fomento de otro tipo de materiales de construcción, que no únicamente enfatice los ahorros económicos potenciales para los usuarios, sino también los efectos directos en términos de calidad de vida que proveen este tipo de construcciones y su congruencia con el principio de responsabilidad ambiental.

La implementación de una estrategia orientada en este sentido, debería contemplar diferentes momentos:

En el corto plazo, el establecimiento de Proyectos Piloto (áreas de demostración, generación y validación de tecnologías en materiales y diseños para la optimización energética, así como la evaluación comparativa de las relación costo/beneficio de las distintas propuestas)

En un mediano plazo, la elaboración de políticas públicas para el estímulo a empresas y público interesados en la construcción y adquisición de viviendas ambientalmente orientadas.

Y finalmente, en el largo plazo, la implementación de planes de desarrollo urbano, sub-urbano y rural con un horizonte de 30, 40 ó 50 años, que consideren diversos escenarios de ahorro de energía, optimización en el uso del agua, reciclamiento de residuos, aprovechamiento de otras fuentes de energía, etcétera, mediante la construcción de espacios habitacionales y centros urbanos

con una perspectiva ambientalmente sustentable.

*g) Conclusiones*

A lo largo de las últimas décadas el Estado de Sonora ha observado una paulatina variación tanto de sus regímenes climáticos como de los patrones de precipitación pluvial registrados en su territorio. Durante este tiempo, centros urbanos ubicados en las regiones costeras del Estado han venido experimentado un notable crecimiento.

Hermosillo, capital del Estado, registra el más elevado índice de crecimiento poblacional de la entidad, lo que ha dado lugar a una explosiva demanda de bienes y servicios. Este hecho explica la creciente expansión observada en la industria de la construcción, particularmente en el rubro de la vivienda.

Los rangos de impacto de esta importante actividad productiva dan cuenta de un complejo conjunto de procesos, este trabajo se centró en abordar las condiciones de uso de agua y energía que caracterizan a la industria local, así como algunas perspectivas de ahorro de estos factores mediante la utilización de herramientas de diseño bioclimático que hasta la fecha han sido pasados por alto en la región.

Los sistemas constructivos que prevalecen en Hermosillo constituyen un claro ejemplo del escaso interés mostrado por las instituciones públicas y los organismos privados, en el sentido de hacer compatibles los modelos de urbanización y los diseños arquitectónicos con las condiciones ambientales del entorno desértico que impera en la región.

Después de mostrar algunos de los ejemplos más sobresalientes que existen a nivel mundial, en torno a estrategias de construcción adecuadas a medio ambientes áridos, presentamos los resultados de tres distintos casos desarrollados bajo las condiciones de la ciudad de Hermosillo, en los que se priorizaron esquemas de ahorro de energía y uso racional del agua en las viviendas.

Encontramos que diseños bioclimáticos que enfatizan aspectos tales como orientación, forma, tipo de materiales, sistemas pasivos de uso energía, reciclamiento de recursos, aislantes naturales, sombras vegetales y, en general, componentes no-tóxicos en las construcciones de una ciudad del desierto, contribuyen de manera significativa en la reducción del consumo de energía y ahorro del agua en los hogares.

Tanto las estrategias de escudo térmico para viviendas, como la edificación de casas con materiales biodegradables, mostraron reducciones drásticas en el uso de energía eléctrica, así como en el gasto de agua, y, en consecuencia, un menor costo de estos servicios para las familias.

La efectividad de diseños y materiales alternativos en el campo de la construcción permitieron reducir y optimizar el uso de aparatos de ventilación y refrigeración, contribuyendo al mismo tiempo a atenuar los niveles de contaminación directa e indirecta que este tipo de

componentes suponen.

Sin embargo, más allá de los aspectos de orden tecnológico ligado a la problemática de la construcción en el ámbito regional, hemos mostrado un conjunto de factores de orden cultural, normativo e institucional que requieren ser abordados a partir de una visión integradora, que permita enfrentar y encauzar con éxito los cambios requeridos.

Elemento central que determina la viabilidad de prácticas de carácter sustentable en el ordenamiento de los espacios habitacionales, las actitudes sociales jugarán siempre un papel crucial en la adopción o rechazo de nuevos paradigmas en el ámbito cultural. El trabajo permitió constatar, mediante un ejercicio de consulta directa en distintas colonias de la ciudad, que un programa de innovaciones en los diseños y tipos de materiales de construcción de viviendas en Hermosillo resultaría viable, siempre y cuando sus beneficios se vieran reflejados de manera palpable en la economía familiar de los grupos sociales involucrados.

Ello exigirá sin duda una decidida reorientación de las políticas públicas, que permita alentar la participación de todos los actores involucrados, mediante esquemas que hagan compatibles los criterios comerciales con los intereses del bienestar público y los objetivos del cuidado del medio ambiente.

El previsible aumento de la población en la capital de Sonora en los próximos años y la demanda creciente de espacios habitacionales que ello supone, deberá formar parte central de la compleja agenda ambiental que se avizora.

En este marco, los múltiples y complejos efectos locales vinculados al cambio climático global, obligan a considerar como prioritario el diseño de estrategias de adaptación a este fenómeno, de manera que logremos estar preparados para enfrentar las nuevas condiciones que se avecinan.

### 3.5 *Un programa de captura de agua*

#### *a) Introducción*

Como resultado de la variabilidad del clima y al parecer del cambio climático, el número de eventos extremos presenta cambios que con frecuencia llevan a en más o menos lluvia, resultando en una dualidad recurrente: inundación-sequía. Los habitantes y autoridades de México aplican diversas acciones para adaptarse o recuperarse de tales condiciones extremas. Sin embargo, hay pocos esfuerzos coherentes por implementar soluciones de largo plazo apegadas a un verdadero desarrollo sustentable, principalmente en los referente a la disponibilidad de agua.

En varios países, la combinación de técnicas para cosecha de agua de lluvia, con otras relacionadas a la recarga natural ampliada o recarga artificial de acuíferos, se ha convertido en solución efectiva para controlar el problema dual de inundación superficial y caída en nivel

freático. En Sonora, la práctica combinada de cosecha y recarga de agua de lluvia para controlar inundación y recargar acuíferos se ensaya con éxito por un grupo reducido de campesinos de la cuenca alta del Río Mátape en Sonora, aunque falta evaluarla con amplitud y formalidad instrumental antes de proponer su masificación regional en áreas rurales y urbanas. Tal práctica, es una potencial solución para enfrentar la sobre-explotación de acuíferos, controlar inundaciones, frenar el daño al ambiente y contribuir al equilibrio hidrológico de muchas regiones de México.

En el 2003, México sobrepasó los 100 millones de habitantes, enfrentando problemas de disponibilidad de agua, sobre todo en el centro norte y noroeste de su territorio. Con casi 2 millones de Km<sup>2</sup> de superficie y una precipitación media anual de 772 mm, la infraestructura hidráulica del país, es de 150 Km<sup>3</sup>, aunque no se capta en esa proporción los 397 Km<sup>3</sup> de escurrimiento anual. Se estima que la recarga de acuíferos es de 75 Km<sup>3</sup>/año y la descarga aprovechada es de 28 Km<sup>3</sup>/año. Sin embargo, tal balance nacional de la extracción respecto a la recarga, reportado en documentos oficiales<sup>1</sup> no revela los grandes problemas de distribución del agua dulce.

Al norte y noroeste de México hay regiones áridas con solamente 50 mm /año de lluvia y donde los escurrimientos son casi nulos. También hay una gran extensión de territorio con zonas semiáridas, con precipitación media alrededor de 400 mm, recarga natural baja, frenada por la deforestación y millones de hectáreas erosionadas, dedicadas en mayor proporción a la agricultura y ganadería. Las regiones semiáridas de México, además de su erosión y otros síntomas de desertificación, se caracterizan por su gran déficit en aguas subterráneas. Sus niveles freáticos decaen al menos un metro por año por una explotación de acuíferos alejada del equilibrio hidrológico natural, con intrusión salina en acuíferos costeros y con eventos extremos de sequía e inundación.

Al trabajar para combatir a la sequía y sobre todo, al buscar respuestas a la escasez de agua de consumo humano en zonas áridas, las declaraciones de funcionarios mexicanos reflejan en apariencia que muchos de ellos trabajan con hipótesis llevadas al nivel de mito, como las siguientes:

- *Hay sequía porque se requiere que llueva más.*
- *La baja captación en presas es porque no llueve como antes.*
- *Si decimos que no llueve como antes, entiéndase que hoy llueve menos.*
- *Equilibrio hidrológico es que el consumo de agua iguale a la recarga.*
- *La inundación es un fenómeno inevitable que se ha dado por siglos.*
- *Toda inundación urbana se debe a un bordo roto o a barda construida.*
- *Para detener la intrusión salina basta frenar el bombeo costero.*
- *No hay agua mas cara que la que no hay.*

Por estas y decenas de razones adicionales, es evidente que los voceros que dan explicaciones a la población no saben hidrología, ni conocen cambio climático. De igual manera, hay casos que prueban que no es suficiente saber hidrología y cambio climático, sino además tener la conciencia para que no predomine el interés económico individual o de un grupo local, nacional o mundial sobre el interés económico y social de la población en su conjunto.

### *b) El problema del agua subsuperficial en Sonora*

Sonora pertenece al grupo de estados del norte y centro, que abarcan juntos el 75 por ciento del territorio nacional, pero cuentan sólo con el 30 por ciento del escurrimiento disponible. Con una superficie de 185,000 Km<sup>2</sup> y precipitaciones que van de 100 mm en zonas costeras y desérticas hasta 800 mm en la sierra, Sonora tiene precipitación media anual de 350 mm<sup>3</sup>. Su consumo de agua es 7 Km<sup>3</sup>/año, pero la infraestructura superficial de captación es superior a 8 Km<sup>3</sup>. Por cada 6 Km<sup>3</sup> usados en agricultura, se extraen 6 Km<sup>3</sup> de fuentes subterráneas.

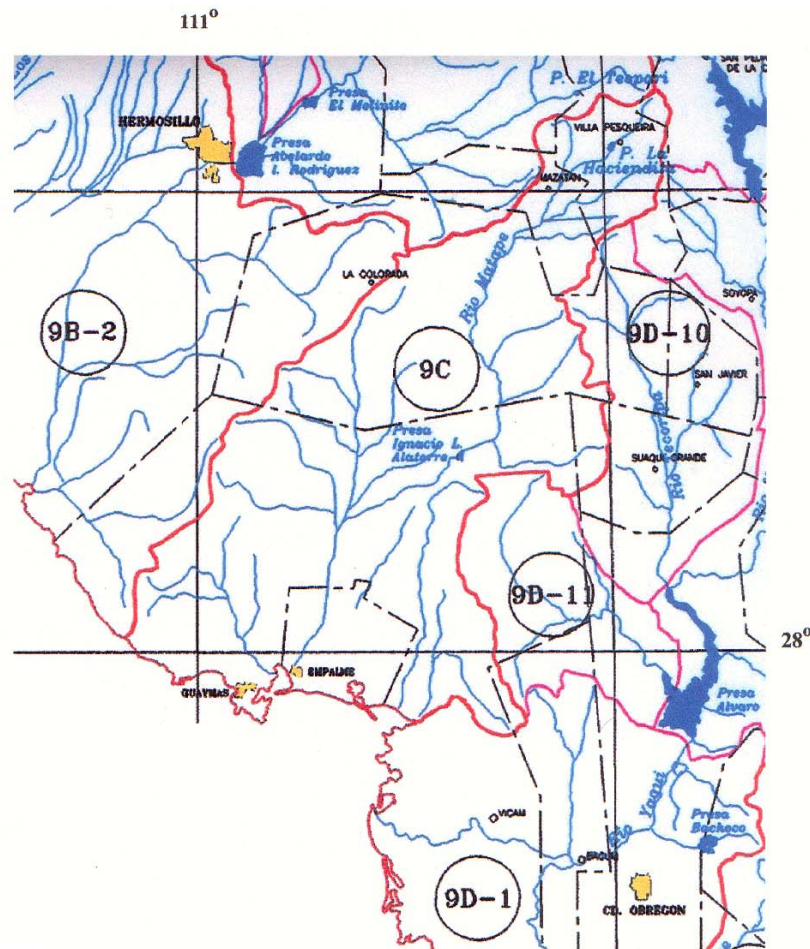
La recarga total a los acuíferos, dependiente sólo de un proceso natural, no está bien estimada, pero difícilmente llega a la mitad de la descarga. Por ello, hay grandes caídas de los niveles freáticos que se combinan paradójicamente con algunos periodos de inundación por precipitaciones extremas, con daños a la población y a la economía<sup>4</sup>.

Las mayores inundaciones en Sonora ocurren en la región sur, en las cuencas del Río Mayo sobre los valles y ciudades de Navojoa, Etchojoa y Huatabampo; en la cuenca del Río Yaqui se inundan valles agrícolas, Ciudad Obregón y varias comunidades Yaquis. En la cuenca del Río Mátape, los valles de Guaymas y Empalme, una gran cantidad de ejidos resultan seriamente dañados, con una frecuencia en tiempo que se aproxima a la anual. Varias colonias de Hermosillo, sobre una cuenca costera de centro-sur, así como de Nogales, en una cuenca fronteriza del norte, sufren también fuertes inundaciones.

La mayor pendiente y precipitación en zonas serranas, provoca deterioro para decenas de hectáreas de tierras, que con la erosión hídrica terminan como azolve de los cuerpos de agua (Fig14) haciendo poco duradero o útil el servicio de presas para control de inundación. Tales inundaciones y enfoques de control han sido caracterizados en estudios locales para pronóstico de avenidas extremas<sup>5</sup>.

Contra la inundación, varios lugares de las cuencas son considerados para presas de control y luego rechazados por criterios económicos. Las poblaciones sonorenses optan así por soluciones evasivas, algunas de corta duración, como bordos de protección y conductos metálicos o pavimentados para eliminación de lluvia. Otros esquemas incluyen limpieza de los cauces naturales y artificiales para que la lluvia pase y se aleje. Hay quienes lo pierden todo con la inundación, principalmente en zonas pobres. En colonias de clase media, las bardas de desviación envían el agua a regiones totalmente pavimentadas (esto es, con cero recarga) que se inundan y convierten algunos sótanos en estanques. Ningún tipo de obra se combina con otra para recolección

provisional o recarga al acuífero. Cuando la emergencia pasa, se inicia la nueva fase de sequía para el lugar.



**Fig. 14**  
 PORCIÓN DEL PLANO DE CUENCAS Y SUBCUENCAS HIDROLÓGICAS DE SONORA, MOSTRANDO ALGUNAS DE LAS TIERRAS Y POBLACIONES DEL CENTRO Y SUR DEL ESTADO MAS SUJETAS A INUNDACIÓN Y ALGUNOS EMBALSES IMPORTANTES:

- Simbología:**
- 9B2 Subcuenca costera con la ciudad de Hermosillo, ambas al SW de la cuenca del Río Sonora.
  - 9C Cuenca del Río Mátape y sus ciudades costeras de Guaymas y Empalme.
  - 9D Cuenca del río Yaqui con 11 subcuencas (solo 3 señaladas)

En Sonora la opinión predominante, probablemente desde el punto de vista sólo de la sequía, invita a adaptarse al agua disponible, refiriéndose con ello a la abatida agua de los acuíferos y al reducido volumen captado por el sistema de presas. Parece ser costumbre moderna en administración del agua no considerar disponible para uso agrícola o consumo humano, al agua de

lluvia que escurre hasta el mar, ni la que se evapora por falta de acción.

### c) *Sobre la cosecha de agua y recarga de acuíferos*

Hay estudios<sup>6</sup> que muestran como las civilizaciones del mundo, a través de los siglos, se han adaptado al cambio climático y en particular a la sequía e inundación; ya sea por emigración, o mediante la aplicación de tecnologías fielmente ligadas al ciclo hidrológico natural, con aplicación de lo que modernamente llamamos técnicas de *cosecha de agua de lluvia*<sup>7,8</sup>. Desde la década de los setenta se ha realizado investigación sobre técnicas que permiten incrementar notablemente el nivel de agua en los acuíferos. Al adaptar verticalmente el concepto conocido sobre *galería filtrante*. Al refinar y sofisticar para diversos sistemas de acuíferos la inundación de pozos por corrientes de agua, se han consolidado las diversas versiones hoy en uso de la técnica de *recarga artificial de acuíferos*. La recarga artificial ha sido por décadas práctica ordinaria en varios países<sup>9</sup>, es tecnología académicamente fundamentada<sup>10</sup>, investigada y excepcionalmente difundida en México por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), que ha publicado diversas revisiones bibliográficas y digestos sobre el tema<sup>11</sup>. Al igual que los asuntos de recarga de acuíferos, el de contaminación de aguas subterráneas es tema que ocupa volúmenes completos en ciencias de la ingeniería y la hidrogeología<sup>12</sup>.

Lo fundamental de este apartado es que, junto al insumo de investigación que la cosecha y recarga de agua de lluvia ofrece a instituciones académicas en la gestión más general de cuencas hidrográficas<sup>13</sup>, persiste la oportunidad de que, regiones serranas de Sonora, sin contaminación, resuelvan sus problemas de sequía e inundación. Esto sugiere otra acción potencial: los campesinos de Sonora, en conjunto con autoridades agrarias y municipales, guiados por técnicos y académicos, y con herramientas y materiales ordinarios (pétreos, cemento, cal y mallas), pueden construir miles de micro obras para cosecha y recarga de agua de lluvia con propósito de lograr abrevaderos para el ganado, espacios para recreación o pesca, recarga para el acuífero que alimenta sus pozos y para retener el agua que actualmente entra e inunda sus áreas del poblado enfrentando productivamente el dual sequía-inundación. La participación de instituciones gubernamentales con insumos y maquinaria para movimientos de tierra daría el ritmo social y eficiente de retorno al ciclo hidrológico.

### d) *Ventajas de la cosecha y recarga*

Aunque algunos autores incluyen toda recarga como una forma de cosecha de agua, se puede separar el trabajo superficial del subterráneo. Hay decenas de técnicas reportadas en la bibliografía y sólo se mencionan las más populares en el noroeste de México.

Para cosecha del agua: diques de retención, microdiques de piedra en cañadas para retención o derivación, bordos, micropresas, repesos o jagüeyes, zanjas y trincheras de contorno, bordos y mamparas para distribuir el agua en tierras de cultivo o pastizal llamados bolseos, perforación o picado del terreno, terrazas, fosas y estanques de profundidad. También se usan las

galerías filtrantes, que son realmente una forma de transporte en medio poroso subterráneo.

Para recarga al acuífero: recarga natural simple, recarga natural estimulada, recarga artificial por inundación de pozos de descarga, pozos o zanjas para recarga artificial por absorción (Fig. 15) y recarga artificial por inyección.

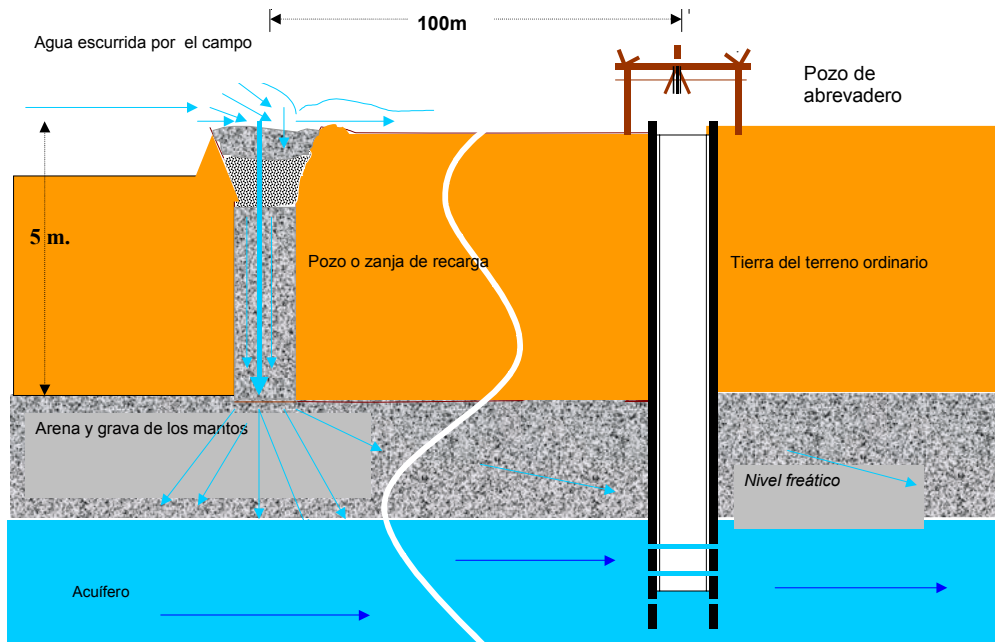


Fig. 15 Zanja de absorción recargando acuífero y a pozo de abrevadero cercano

Como alternativa a obras mayores para control de inundación o riego, el uso de las técnicas de cosecha anotadas y las de recarga, exceptuando la inyección, traen para las zonas rurales solución productiva al desempleo, participación comunitaria, control y efectividad en los costos, descentralización al municipio, cortos tiempos para construcción, uso y facilidad en su mantenimiento por azolve, taponamiento o acumulación de arena.

*d) Experiencia en control productivo de inundación-sequía*

Los casos exitosos sobre control de inundación con cosecha y recarga de lluvia son abundantes. Se pueden citar algunos de regiones semi- (áridas) de Estados Unidos, cercanas a Sonora y un caso masivo en Asia. Desde la década de los 70, Fresno California construye estanques para almacenar agua de lluvia y otros estanques para aguas recicladas, que luego son infiltradas, ambas, con recarga artificial hasta las fuentes subterráneas. En Phoenix, Arizona, los canales de conducción de agua de tormentas tienen obras y mantenimiento para recarga de acuíferos.

En *Dell City*<sup>14</sup>, una condición inusual de inundación llevó en los ochenta a estudios para determinar si el agua de tormenta podía ser utilizada para recarga subterránea. La ciudad se localiza a 145 Km. al este de El Paso, en un valle que ocasionalmente sufre inundaciones desastrosas. La falta de drenajes naturales como arroyos o ríos provocaba grandes pérdidas por inundación. Al mismo tiempo, el uso agrícola del agua subterránea hacía caer los niveles freáticos del lugar. Para resolver el problema, el Servicio de Conservación de suelos del Departamento de Agricultura de E.U. propuso construir cuatro estanques para control de inundación. Al no haber cauces de desagüe se construyó una serie de pozos de recarga inmediatamente aguas abajo de cada estanque. El agua de inundación entra a los estanques receptores durante las tormentas y luego fluye a los pozos resolviendo dos problemas que aquejaban a la población. En 1991, con 11 pozos podían recargarse 7.4 millones de m<sup>3</sup> a los acuíferos regionales, dependiendo de la cantidad de lluvia, y el problema dual está hoy bajo control.

En Asia, y en particular en La India, los ejemplos y alternativas para control de inundación y sustentabilidad son abundantes. En 1999 el Ministerio de Desarrollo Rural de La India implementó varios programas sobre desarrollo rural, entre ellos uno conteniendo los lineamientos para sustentabilidad de las fuentes de agua dulce de beber para las áreas rurales, y que describe y recupera las técnicas de cosecha y recarga de agua de lluvia aplicadas en el país por miles de años<sup>15</sup>.

En una zona urbana, decenas de ideas pueden combinarse. Por ejemplo, si se da al pavimento impermeable una leve pendiente hacia un colector que transporte el agua a un hoyo, cavado para retener el agua de lluvia se puede coleccionar agua. El agua de techos y terrazas puede enviarse directamente a pozos de luz en desuso, previo paso a través de una capa filtrante de grava y arena. En ausencia de pozo se cava la capa impermeable y se llena con grava y arena para verter el agua en el pozo de recarga así construido. Conviene construir un brocal de un pie alrededor de la boca del pozo para retener el agua y lograr percolación lenta y filtrada.

### *e) Análisis de factibilidad y costos*

De acuerdo a criterios internacionales, la cosecha de agua de lluvia es económica y efectiva para precipitaciones superiores a 150 mm /año<sup>16</sup>, lo que no impide su aplicación a casos específicos para regímenes menores de lluvia. Además de la recarga de agua, se tienen beneficios al frenarse la erosión por escurrimiento, mejorando el ambiente y los suelos. El proceso no genera contaminación y puede aplicarse manual e individualmente en el campo. Su uso en ciudades, contra la inundación y como técnica productiva de protección civil es promisorio e imaginativo. La recarga artificial por absorción o por inyección aplicada convenientemente revierten la intrusión salina.

Las micro obras de cosecha y recarga son económicas en su construcción y efectivas al resolver el problema local. El costo final de operación de las mismas no ha sido medido o reportado por ser muy flexible su capacidad de maniobra. Un microdique de piedra construido sobre una cañada de la sierra de Mazatán, en Sonora (Fig 17), con un volumen de mampostería de 60 metros

cúbicos con un costo de 2500 dólares, ha probado su utilidad para retener en el cauce unos cientos de metros cúbicos, pero al elevar el nivel del dique con unas cuantas piedras sobrepuestas, tiene la capacidad para desviar cientos de miles de metros cúbicos de agua lateralmente a depresiones del terreno, para almacenamiento o recarga. Sus flujos en cualquier dirección pueden ser controlados y su vida útil en décadas es incuestionable. El uso combinado de maquinaria para movimiento de tierra o arena potencia la aplicación de las técnicas combinadas.

Con escasos ejercicios no pueden obtenerse costos unitarios representativos, pero es cierto que la cosecha de lluvias ha sido una solución económica para los campesinos del mundo por miles de años, antes del auge de grandes presas durante el siglo XX. Frente al cambio en la política mundial sobre obras de irrigación, las áreas rurales y urbanas de Sonora y de México, tienen la obligación de, reaccionar, basándose en estudios del problema que permitan seleccionar soluciones correctas a sus crisis con el agua. La cosecha y recarga combinada de agua de lluvia, independientemente de los obstáculos para validar costos, es una buena alternativa para las comunidades y municipios con poco acceso a fondos para obras mayores, máxime cuando éstas han caído en desuso ante los organismos internacionales de financiamiento.

Con respecto a la recarga natural y a la artificial con pozos de absorción, las tasas finales de recarga natural difieren mucho según el lugar, la altura de carga, el espesor de corriente o estanque y las propiedades del suelo donde se da la infiltración. Existen Leyes, ecuaciones y fórmulas para el caso bajo análisis, así como información teórica y empírica aplicable<sup>17, 18</sup>. Sobre el terreno ordinario, moderadamente permeable de las micro cuencas, la tasa de infiltración media en recarga natural, depende de varios factores, pero los valores normales oscilan entre 10 y 15 mm/ hr. Es importante meditar y reconocer el lugar adecuado para obras de recarga, ya que no toda infiltración se convierte en recarga al acuífero.

La recarga artificial mejora considerablemente la infiltración del lugar, pues en lechos porosos de grava o arena que llenan los pozos de absorción se han logrado registrar tasas de infiltración medias de 50 mm/hr y se han obtenido tasas de hasta 100 mm/ hr. Se han presentado reportes<sup>19</sup> que permiten estimar cómo una hectárea en pozos de absorción tiene el potencial de recargar entre 2000 y 10000 m<sup>3</sup>/ día en tiempos cortos. Aunque una ilustración generalizada así sería aventurada, es posible imaginar que al combinar pozos de absorción con estanques de emergencia en zonas urbanas bajas, soluciones más productivas que las tradicionales ya mencionadas.

En el campo, el espacio disponible permite acción de mayor alcance. Cuando se conoce el ritmo de avance y costo unitario para desalojo de tierra con retroexcavadora a la profundidad deseada, así como datos de costos y coeficiente de infiltración para el material filtrante, se puede presupuestar en forma aproximada las necesidades para captar cualquier fracción del escurrimiento sobre un cauce.

### *f) Metodología para iniciar un programa de cosecha -recarga*

El cuestionamiento de alternativas en la selección del método más apropiado para resolver la carencia de agua superficial y subterránea destinado a aliviar la inundación de áreas municipales, se sujeta con frecuencia a restricciones de presupuesto, de accesibilidad, de sencillez para autoconstrucción o a los tiempos para ejecución y logro de resultados. Dado que el ranchero y campesino de la zona (semi) árida no tiene acceso masivo real a las técnicas sofisticadas de productividad para reducir el consumo de agua, su única esperanza es aprovechar el agua que hoy “se desperdicia” en la naturaleza. El campesino no cree realmente en la escasez del agua, pues sufre las sequías, pero observa las inundaciones y el agua que se va. Por tal razón *no requiere de convencimiento para usar métodos milenarios* que realmente nunca ha desechado. Es necesario sin embargo, que la comunidad campesina los construya en forma *(auto)organizada* y con base a un programa con fondos económicos, que siempre son mucho menores que los fondos requeridos para grandes obras de irrigación. Así, el método debe ser una combinación modernizada de técnicas históricamente afines al campesino de la zona que lleven a la *sustentabilidad* respecto al agua *en el ciclo hidrológico*.

El término, “modernizada”, significa que la excavación con pico y pala, así como la extracción de material con cigüeñas, postes y grúas de madera que se usaban en la antigüedad, pueden usarse si se desea, pero todas esas funciones quedan hoy cubiertas por maquinarias como la retroexcavadora (*backhoe*) o incluso las perforadoras mineras de vagón (*wagon drillers*).

Por eliminación de alternativas, el método deseado sólo se logra utilizando una o más variedades de cosecha del agua de lluvia, una o más variedades de recarga de acuíferos o una combinación de cosecha y recarga, al requerir el cumplimiento de un objetivo múltiple y ambicioso. En conjunto el proyecto debe servir a la comunidad para *simultáneamente* controlar la inundación de predios y poblados, para almacenar agua en estanques superficiales de abrevadero o en el subsuelo, y recuperar el nivel somero de sus pozos. Tal combinación debe considerar aquellas versiones de cosecha y/o recarga más económicas y accesibles para aplicarse sin complicaciones de tratamiento de aguas por contaminación, y sin necesidad de instrumentación o equipo especial para flujo o medición que con frecuencia la encarecen. Esto limita su aplicación a las *áreas rurales libres totalmente de contaminación* industrial, agrícola, de pesticidas y minera. *El registro de niveles será visual y en pozos existentes*. Esto no impide la intervención de áreas académicas que con sus recursos hagan mediciones, instrumentaciones y registros que juzguen pertinentes y que lleven a mayor conocimiento de la hidrología, parámetros de las cuencas o calidad del agua.

El método seleccionado con los objetivos ya enunciados se legitima porque propicia la autoorganización y la participación de la comunidad rural; pudiendo contribuir a *resolver la pobreza y el desempleo* de áreas marginadas y tendiendo a promover la sustentabilidad institucional de municipios y comunidades. *La ejecución de la obra será flexible*, planeada de forma que pueda aplicarse por una familia en un predio, por grupos campesinos con obra colectiva en una

microcuenca, o en un programa masivo gubernamental. Los tres casos pueden efectuarse con sólo herramienta campesina o en forma combinada con maquinaria.

Debe darse un período de revisión *o enseñanza y aprendizaje de las técnicas* de cosecha y recarga a los usuarios productores y a los encargados de obras municipales para uso urbano, complementando con *visitas al campo y obras en operación* para cubrir detalles de selección del sitio, construcción, mantenimiento y aspectos de flexibilidad en su aplicación.

Con cartas topográficas e hidrológicas y/o con un detallado conocimiento del terreno se seleccionan las microcuencas del lugar para construir estanques de abrevadero o de riego, con bordos de tierra; laderas de lomas para curvas de contorno, curvas de bolseo en praderas, diques de retención y/o derivación en cauces, y espacios para zonas de recarga natural ampliada, de recarga artificial por absorción o por vertido a pozo abierto. Los diques son localizados preferentemente en cañadas sobre crestas naturales de piedra, donde abunda dicho material suelto, siguiendo criterios adicionales sobre golpe de ariete, flexibilidad de uso y derivación de corrientes.

Los campesinos de la región en estudio deben generar un criterio para el área mínima necesaria que considere la precipitación promedio de zona de captación de sus represas con bordo de tierra, que compensando la evaporación semestral en zona árida del 50 por ciento de lo captado para el escurrimiento local, pueda abrevar entre 50 ó 100 unidades de ganado vacuno por un año. El desagüe de los estanques o represas debe verter a una zanja de recarga para evitar desperdicio y tal vez, para reducir la evaporación, sobre todo si hay pozo de abrevadero aguas abajo. La recarga artificial en arroyos debe efectuarse tomando en cuenta la colocación de los pozos de abrevadero, a uno u otro lado de los cauces. La zanja de recarga, transversal al cauce, debe cavarse a mas de 100 metros aguas arriba del pozo de abrevadero a beneficiar. El trabajo es conveniente efectuarlo con retroexcavadora, para extraer las capas de tierra que restringen la infiltración, hasta alcanzar la capa de grava y arena. Se llena la zanja con arena limpia, generalmente disponible en el lugar, con lo cual se logra una galería filtrante vertical o zanja de absorción.

Si la excavación total o la preparación final de la zanja ha de efectuarse manualmente, debe tenerse la precaución de evitar derrumbes de las paredes del arroyo que pudieran sepultar o lesionar a los trabajadores. Por tal razón, se recomienda seleccionar bien la anchura de cada zanja, dado que su longitud será al menos la anchura del arroyo. No conviene que la pared de la zanja de trabajo sea toda vertical y para ello debe tenerse en cuenta el ángulo de reposo del material. Cada temporada, las zanjas de recarga artificial deben recibir mantenimiento manual, eliminándose con pala de la capa superior, oclusiones con lodo y orgánicos. En períodos de recarga la oclusión observable de lodos puede interrumpirse con alguna ligera limpieza a pala y posterior picado con barras, lo cual restituye alguna eficiencia al proceso. El lugar de recarga debe estar libre de basuras lixiviables y de fuentes de bacterias, pues aunque la zona no saturada y aún el acuífero filtra y elimina varias impurezas y bacterias, no es conveniente que por descuido se recarguen aguas contaminadas.

Es conveniente que las áreas de recarga sean señaladas para la población mediante letreros describiendo el proceso que en ellas se efectúa. Es mejor aún cercarlas con alambre de púas, no sólo por el riesgo realmente existente, de que un lecho húmedo y poroso ceda al peso de animales, vehículos o personas, sino también evitar la compactación que baja la eficiencia y para mantener la limpieza.

La inundación en áreas del poblado puede eliminarse reteniendo primero la mayor porción de tales corrientes de agua en estanques en las afueras del pueblo. En áreas internas, se construyen zanjas de recarga al acuífero, en parques, lotes, cruceros o banquetas, protegidas con rejillas y accesibles al mantenimiento. Si el flujo es considerable, conviene aún al interior del poblado disponer de estanques con recarga artificial, de poca área pero mayor profundidad, convenientemente aislados y cercados.

El seguimiento al programa de recarga se logra con la participación de entidades académicas agropecuarias del lugar, o con la asesoría de especialistas. Se debe mantener un registro de niveles previos a la recarga, para cada pozo de abrevadero; conviene también mantener datos de la calidad del agua para cada pozo, pues aunque la región se está suponiendo libre de contaminación, tal registro permitirá detectar la fuente de anomalías.

Finalmente, la cosecha y recarga de agua de lluvia puede efectuarse en cualquier lugar con resultados locales. Sin embargo, si se quisiera hacer un trabajo sistemático y estatal hacia la recuperación del equilibrio hidrológico y la sustentabilidad de una cuenca y con atención a la erosión, es indispensable y mucho más benéfico, que los trabajos inicien por etapas desde lo alto de la cuenca sobre todo si hay restricción de recursos económicos.

### *g) Un caso municipal en estudio*

El municipio de Mazatán, en el estado de Sonora, con 650 Km<sup>2</sup> de superficie y precipitación media de 500 mm /año, está compartido entre las cuencas de los ríos Mátape y Sonora. Es una región ganadera, por lo que tierra y agua han sido por décadas los insumos básicos de su actividad económica. Con infraestructura hidráulica oficialmente nula, Mazatán ha dependido de unos 200 pozos de abrevadero y unos 100 pequeños estanques de entre 200 y 2000 m<sup>3</sup>, muchos de los cuales sólo operan medio año. En el lugar unos 20 productores tienen acceso al agua subterránea para riego.

Mazatán sufre los efectos del cambio climático con sequía e inundación, al igual que los otros municipios de la cuenca del Mátape (Fig 16). Periódicamente, la infraestructura de ranchos del municipio, incluida tierra de cultivo, es dañada por grandes avenidas. La inundación de áreas del poblado complica los problemas de sanidad. Adicionalmente, productores de municipios aguas abajo en la cuenca han optado por asociarse para construir pozos profundos, por lo cual los niveles freáticos se han abatido con el tiempo con muy escasa recuperación.

Para sortear inicialmente este problema en sus abrevaderos, los rancheros de Mazatán primero construyeron contrapozos para bajar más sus bombas centrífugas. Al bajar el nivel freático, algunos productores tuvieron que cambiar a bombas sumergibles pero otros sólo tienen la alternativa del caballo de tiro. Los poblados de municipios vecinos, aguas abajo en la cuenca, han optado por asociarse para gestionar pozos profundos, lo que agudiza la sequía en el campo y la competencia por el agua de beber del poblado.

Ante este panorama y por más de dos décadas, los pobladores han mantenido la solicitud de una presa pequeña, pero que se maneja con un costo actual de tres millones de dólares, equivalentes a 6 años del presupuesto operativo municipal. Algunos productores han ensayado por décadas técnicas antiguas como el bolseo de tierras de cultivo, las trincheras y bordos de contorno, inundación de pozos por corrientes, diques ó tajos al bordo de un cauce de arroyo para desviar agua al predio, galerías filtrantes etc., en algunos casos con poco control o rendimiento.

Tras diversas gestiones infructuosas de grupos agrarios y comisiones del municipio para la obra mayor, y ante la necesidad de actuar frente al problema, en los últimos años se han efectuado en la sierra de Mazatán y en otros sitios del municipio, varios ejercicios colectivos de cosecha de agua de lluvia y de recarga artificial, con recursos personales o compartidos y con resultados buenos aunque de alcance extremadamente local.

Después de tres años de difusión, estudios y ejercicios, miembros del gobierno municipal y organizaciones campesinas de comuneros y ejidatarios de Mazatán, sin desechar la solicitud al gobierno federal de su proyecto de presa, y con asesoría de universitarios, se han dado a la tarea de iniciar un programa municipal de control productivo de inundación y sequía. Tal programa consiste en la autoconstrucción masiva de micro obras de cosecha y recarga de agua de lluvia para control productivo de aguas de inundación sobre cañadas, arroyos, faldas de lomas, pendientes del terreno, praderas, y en áreas periféricas o dentro del poblado y que se han ensayado en el campo para abastecer acuíferos y pozos.

Pero los municipios pequeños de la sierra realizan todas sus funciones con presupuesto anual menor a 500,000 USD. La escasez de recursos y el análisis global ha llevado a los impulsores del programa en Mazatán a promocionar la ventaja de convertirlo en intermunicipal en la cuenca, con posibilidad de resolver económicamente la inundación en los municipios costeros de Guaymas y Empalme, así como su abatimiento de nivel e intrusión salina en acuíferos. Un programa a tal dimensión mejora la gestión ante gobiernos estatal y federal y lleva a que sus dependencias de asesoría y control apoyen con decisión.

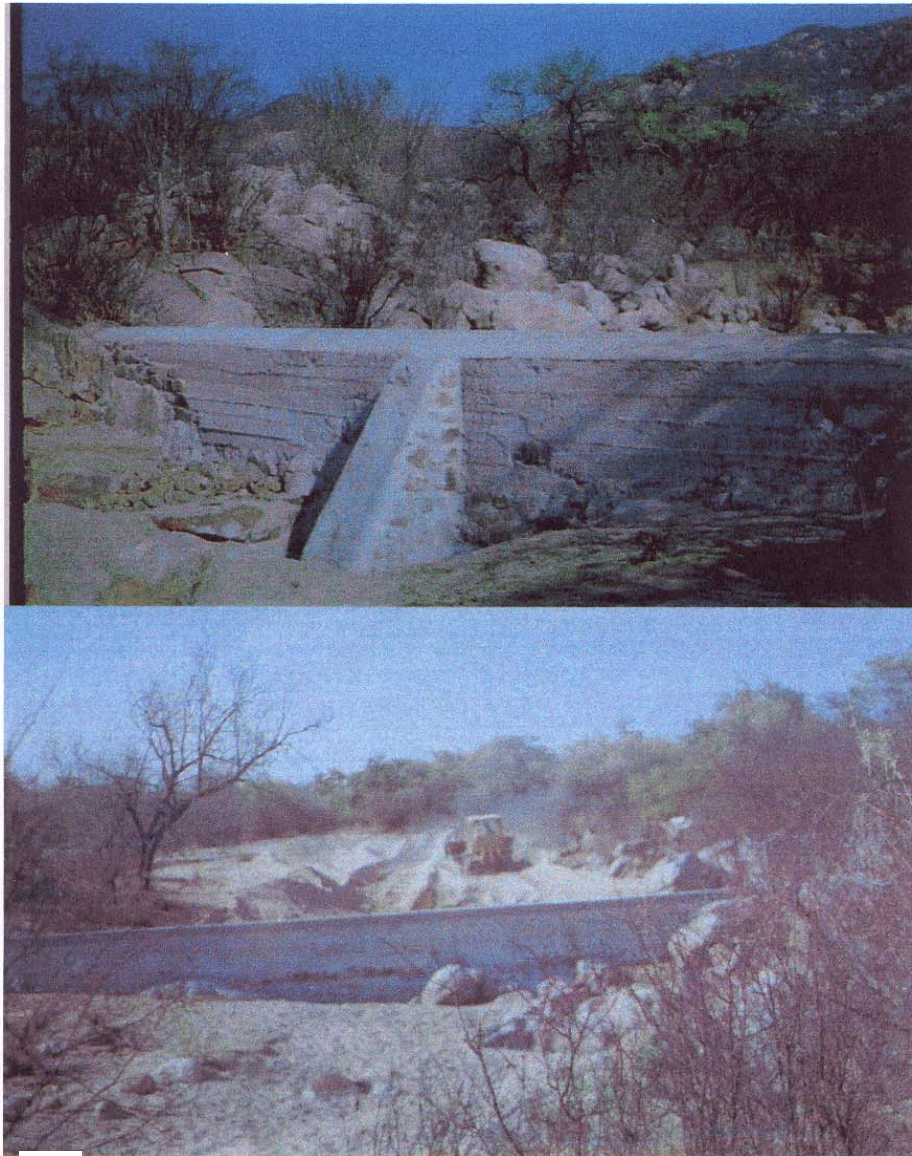


Fig 16 Microdique en cañada, sierra de Mazatán, Son. en su etapa final de construcción por cooperación campesina. Estanques arriba y abajo para retención y recarga natural; situado para modificarse y lograr derivación controlada a depresiones naturales del terreno. Primero de una batería de diques en tres kilómetros de cañada hacia la sierra. Su llenado y uso para abrevadero fue un éxito. Se prevé el uso de recarga artificial aguas abajo de cada dique y liberar en el futuro actuales restricciones de uso en recreación y turismo..

Las autoridades municipales y agrarias de Mazatán y la población están resueltas a impulsar el programa aún con escasos recursos propios. Para asesoría y seguimiento interdisciplinario se prevé convenio con la Universidad de Sonora. Para la gestión ante el gobierno estatal se elaboró una *Propuesta de Programa sobre Cosecha y Recarga de agua de Lluvia, para la Recuperación del Estado de Sustentabilidad de todos los Municipios de la Cuenca del Río Mátape*.

Si tal programa es apoyado por el gobierno estatal, se prevé por los impulsores del proyecto la interacción de dependencias gubernamentales ligadas al medioambiente, agricultura, ganadería, pesca, turismo, ecología, política hidrológica y diversos académicos e investigadores universitarios. Un ejercicio macro, ejecutado por campesinos y usuarios, apoyado con fondos y maquinaria por dependencias de gobierno asesorado por dependencias oficiales y guiado por académicos sería una oportunidad para registrar desde varios puntos de vista la información que permita en el futuro normalizar procedimientos hacia una aplicación más generalizada en otras regiones del estado y el país.

Finalmente se gestiona la aplicación de fondos Canadienses distribuidos desde Uruguay por el Secretariado de Manejo del Medio Ambiente para América Latina y el Caribe SEMA para apoyar la medición y otros aspectos científicos en la interacción municipio-centro de investigación. Tal información consistente en parámetros físicos e hidrológicos, nivel freático, capacidades, flujos, rendimientos, costos, unitarios, costos sociales y de oportunidad, calidad del agua, normas técnicas y legales, elementos de política hidrológica y posibles obstáculos legislativos a vencer deben ser todos tomados en cuenta, de forma que un buen resultado impacte la conciencia de líderes y sobre todo a la política hidrológica, mas que a estructuras.

#### **4 Evaluación de los resultados del Trabajo**

Con el objeto de presentar los resultados del análisis de las opciones de adaptación, registrar las reacciones a éstos y pedir a los sectores participantes que asignaran un orden prioritario a cada opción, se realizó un segundo Taller de Trabajo en Hermosillo el 1 de julio del 2003. Los participantes del Taller no fueron los mismos que participaron en el primer Taller en el año anterior, principalmente porque el enfoque del proyecto era más definido y los participantes reflejaban su interés en ese enfoque. Los participantes incluyeron representantes del sector público (Agua de Hermosillo, Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, INE), el sector turístico, el sector de construcción, académicos y representantes de organizaciones no-gubernamentales y cívicas. Los participantes sumaron alrededor de veinte personas, quienes escucharon los resultados de la investigación realizada por el Colegio de Sonora sobre las tres opciones de adaptación seleccionadas después el primer Taller. A través de una discusión estructurada, los participantes debatieron los retos y ventajas de las opciones presentadas. La discusión se enfocó en el contexto político y cultural necesario para la implementación exitosa de las adaptaciones propuestas. Aunque los participantes reconocieron la necesidad de ordenar las opciones en términos de su factibilidad, costo, y viabilidad, concluyeron que para tener un verdadero impacto que redujera la

## Adaptación al Cambio Climático

vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático, sería mejor implementar las tres opciones en conjunto. Se enfatizó la necesidad de apoyo e incentivos en las políticas de desarrollo para poner en prueba cada adaptación.

La discusión concluyó con el desarrollo de un matriz que capturó la evaluación comparativa y cualitativa de las tres opciones. La evaluación realizó con base en los siguientes criterios:

- 1) la eficiencia del proyecto para mitigar la problemática del agua en el futuro,
- 2) el tiempo necesario para obtener resultados
- 3) el costo,
- 4) la viabilidad,
- 5) los actores que tendrían que involucrarse en la implementación, otros impactos (ambos positivas y negativas) que se esperaron del proyecto (Cuadro 8).

**Cuadro 8: Evaluación de los Adaptacio-**

ADAPTACION	EFICACIA	PLAZO	COSTO	VIABILIDAD	ACTORES	IMPACTO
Cultura de Agua (sistemas ahorradores)	Alta	1 a 3 años (dependiendo del financiamiento)	Bajo (recuperable)	Alta	Agua de Hermosillo y usuarios CNA., Comerciantes y Empresas	Ahorro de energía y dinero.
Materiales de Construcción (Reciclaje de agua)	Medio	20 años	Bajo (en comparación con otros sistemas de construcción)	Medio	Promotores e instituciones publicas de la rama, Científicos y gremios.	Ahorros Sustanciales de energía, menos generación de residuos, bienestar social y salud humana.
Captura y Control de Agua de Lluvia	Alta	10 años (mediano plazo)	Bajo (depende la maquinaria)	Alta localmente y media regionalmente	Gobierno Federal, Estatal y Municipal. Productores y campesinos	Control de inundaciones y disponibilidad de agua. Impactos ecológicos?

Siguiendo esa evaluación cualitativa, los participantes pusieron en orden las opciones en términos de importancia dado la situación *presente* del agua en Hermosillo. Después hicieron el ejercicio otra vez, en consideración de los dos escenarios *futuros* del clima. Los resultados de ese ejercicio se presenta en Cuadro 9.

Cuadro 9: El Orden de las Opciones para Adaptación (1 = Prioridad Alta)

	Cultura de Agua	Captura de Agua de Lluvia	Materiales para construcción
Hermosillo Hoy	1	2	3
Futuro Caliente y Seco	2	3	1
Futuro Caliente y Húmeda	1	2	3

Se mostró que los participantes dieron más peso a la propuesta Cultura del Agua, considerando que el consumo de agua doméstica y la educación acerca de la escasez de agua fueron los más importantes para abordar los problemas presentes de agua en la ciudad. Bajo condiciones futuras más calientes y secos, la mayoría de los participantes cambiaron su evaluación de la importancia de las tres opciones, poniendo más importancia en el mejoramiento del uso de energía en la construcción de las casas. Bajo condiciones más húmedas en el futuro, casi tres cuartos de los participantes cambiaron el orden de las opciones, aunque el resultado neto era igual al orden que pusieron las opciones para condiciones presentes.

En general, los participantes comentaron que la manera en que el asunto de agua ha sido politizado en el municipio es un obstáculo fuerte para la implementación de soluciones sustentables. También existe preocupación por la falta de conocimiento sobre la relación entre el incremento en las temperaturas y la disponibilidad de agua en la región.

Finalmente, se resaltó que la falta de datos confiables sobre la disponibilidad y consumo de agua en el municipio representan obstáculos fuertes en el diseño de estrategias para el manejo del agua en el futuro.

## 5 Conclusiones y Trabajo Futuro

El proyecto concluyó que hay opciones factibles para enfrentar los problemas actuales asociados al clima, como son sequía, calor e inundaciones, así como los problemas futuros esperados con cambio climático. Cada una de las opciones tiene sus ventajas y retos, pero cada una de las tres adaptaciones puede facilitar un camino más sustentable y sano para el desarrollo de la ciudad de Hermosillo. La voluntad de los participantes del proyecto de los sectores público y civil en Hermosillo demuestra que hay mucho interés en el medio ambiente y el desarrollo de la ciudad. El reto que queda es capitalizar en ese interés y poner en prueba las varias opciones descritas en el proyecto.

El proyecto también demuestra que es posible y deseable involucrar a los actores clave en la consideración y análisis de opciones para adaptarse al estrés ambiental, como aquel relacionado con deficiencias en la disponibilidad y abastecimiento de agua, prioridad presente y futura de la región norte de México. La ventaja de trabajar cercanamente con actores clave es que resulta posible abordar los problemas que más les preocupa, asegurando que sus criterios y opiniones están incorporados en el análisis y evaluación de soluciones. El proceso seguido en el proyecto también permitió que hubiera suficiente tiempo y recursos para un análisis de las opciones por expertos, aunque estudios más detallados y evidencias de la viabilidad de las opciones de adaptación propuestas son necesarias antes que se puedan traducir en políticas públicas. El proyecto puede servir como un modelo que se puede desarrollar en otros proyectos de adaptación, tanto en México como en otros países.

### REFERENCIAS

- 1) Marshall, R. 2000. An Ecological Analysis of Conservation Priorities in the Sonoran Desert Ecoregion. Ed. TNC, IMADES y Sonoran Institute. E. U.
- 2) Adger et al., 2002.
- 3) INEGI, 2000. Anuario Estadístico. Sonora. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- 4) Méndez, E. 2003. Hermosillo en el siglo XX. Urbanismo Incompleto y Arquitecturas Emblemáticas. E. Colegio de Sonora, H. Ayuntamiento de Hermosillo e ITESCA. México.
- 5) Pearlmutter, D. 2000. Patterns of Sustainable in Desert Architecture: Arid Lands Newsletters. No. 47. May. E. I.
- 6) Moody, 2003. Civano Solar Village in Tucson. <http://habitat.aq.upm.es/dubai/98/bp019.html>.
- 7) Etzion N, Y. 1994. A Bio Climatic Approach for Desert Architecture. En: Arid Lands Newsletters No. 36. Fall-Winter. E. U.
- 8) Chaulfon, N. 2000. Development and Dissemination Interactive Energy Workshops for local and International Communities. Proceedings of PLEA 2000. Architecture City Environment. The Millenium Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2<sup>nd</sup>-5<sup>th</sup> July, 2000, Cambridge, England.
- 9) Potts, M. 1994. The Independent Home: Living Well with Power from the Sun, Wind, and Water. Chelsea Green Publishing Company. E.U.
- 10) Roy, R. 1994. Underground Houses. Sterling Publishing Co. Inc. E.U.
- 11) Martínez, J. 2002. Eco-construcción de Espacios Comunitarios en Sonora. México. Ponencia. Universidad de Camaguey, Congreso VIPO 2002. Cuba.
- 12) Ponce, A. 2003. Concreto Ligerio Celular. Centro de tecnología Cemento y Concreto. CEMEX. México.
- 13) Natalini, M. y Klees, D. 2000. Reciclaje y Reutilización de Materiales Residuales de Construcción y Demolición. Ed. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.
- 14) UNESCO, Agua para todos. Agua para la vida, Informe de las Naciones Unidas sobre el

- Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en el Mundo, París, Francia, 2003. p. 4.
- 15) Agua para las Américas en el Siglo XXI, El Colegio de México-Comisión Nacional del Agua, 2003. p. 94.
  - 16) González Gaudiano, Edgar. “¿Para que una cultura de agua?”, Agua y Desarrollo Sustentable, Gobierno del Estado de México. Vol. 1, núm. 1, 2003. p. 15-17.
  - 17) Agua de Hermosillo para los Hermosillenses. Informe de actividades, periodo 25 de enero – 31 de agosto de 2002. p. 10.
  - 18) Coppel, María Eugenia. (Entrevista). Programa Cultura del Agua del organismo operador, 16 de junio de 2003.
  - 19) Acuña, Fernanda y León, Katia. Diagnóstico del consumo doméstico el agua en Hermosillo. Tesis para obtener el título de ingeniero industrial y de sistemas. Departamento de Ingeniería industrial. Universidad de Sonora, julio 2001.
  - 20) Wood web, et al, op. cit., y estimaciones de la empresa Aquavit de México, que vende los llamados economizadores hidráulicos y cuya sede está en la ciudad de Guadalajara, Jal.
  - 21) OECD, 2003. Environmentally Sustainable Buildings OECD Publications. Francia.
  - 22) Periódico El Imparcial, Domingo 23 de agosto, 2003. Avizora escasez de electricidad. “El coordinador del Programa de ahorro de energía del gobierno estatal estableció que la capacidad instalada de la Comisión Federal de Electricidad, en el noreste de 2 mil 500 a 2 mil 600 Mwatt apenas se ajusta a la demanda....En el 2005 la situación podría cambiar. Podrían, en caso de que no hubiera suficiente electricidad para abastecer, a punto, presentarse apagones por desabasto, algo que no ha ocurrido en Sonora”.
  - 23) Por mas de 50 años la presa A. L. Rodríguez construyó la principal fuente de abastecimiento de agua de la ciudad, sin embargo, el agotamiento de este recurso a llevado a la capital a depender exclusivamente de la extracción de 73 pozos profundos, 49 de los cuales se ubican fuera del área urbana, afectando acuíferos de comunidades vecinas (Fuente: Agua de Hermosillo).
  - 24) Según datos del Organismo Operador de Agua de Hermosillo, el consumo por concepto de regadera, lavadoras, cooler y riego de jardines en la ciudad representa alrededor del 65% del consumo total promedio en casas Fuente de Agua Hermosillo ([http://www.agua.gob.mx/home/contenido/cultura/index\\_05.html](http://www.agua.gob.mx/home/contenido/cultura/index_05.html)).
  - 25) El modelo de simulación ENERGY-It es componente de un programa de cómputo del proyecto denominado “Diseñando Edificios de baja demanda de Energía” el cual fue

construido por el departamento de Energía de los Estados Unidos, con la participación del consejo de la industria de la construcción sustentable, el laboratorio Nacional de Energía Renovable, el Laboratorio Nacional de Lawrence Berkeley y el Grupo Solar Berkeley.

- 26) Entre estos destacan: la orientación de la casa, dimensiones de los muros según exposición solar, aberturas al norte y al sur, vegetación de sombra, secciones semienterradas, etcétera.
- 27) Un análisis detallado del estudio realizado puede ser consultado con José María Martínez.
- 28) De acuerdo con los datos del Gobierno del estado existe un rezago acumulado en Sonora en la materia que se aproxima a las 57, 000 viviendas anualmente. (COPROVI, 2002).
- 29) Periódico El Imparcial, Domingo 22 de junio de 2003. Proponen nueva ley para abrir el rezago. “El presidente de la comisión de vivienda de la Cámara de Diputados expuso que el marco legal en la materia data de hace 18 años y está rebasado porque no existe una regulación sobre constructoras de vivienda popular que en gran número de casos defraudan con obras de pésima calidad y un costo muy alto”.
- 30) Periódico El Imparcial, lunes 24 de agosto de 2003. Fuerza CFE ahorro de Energía. “A fuerzas, los sonorenses bajaron hasta en un 20% sus consumos de energía eléctrica, como consecuencia del incremento de las tarifas en el 2002. y aunque el Gobierno federal dio reversa a principios de este año y regresó las tarifas a niveles del 2001, los consumos no se recuperaron. Mario Morúa Castañeda, coordinador del Programa de Ahorro de Energía del Gobierno del Estado, indicó que en el 2001 se vendieron 2 millones 285 mil 811 mega watts por hora en el servicio doméstico para Sonora, mientras que el año siguiente, cuando el Gobierno federal redujo los subsidios al mínimo, la comercialización bajo a 2 millones 249 mil 969 Mwh”.
- 31) Periódico El Imparcial 21 de Noviembre de 2002. Subsidios. “B Gobierno federal ha anunciado que eliminará subsidios al agua en el País a entidades que tienen capacidad de pago para el servicio que se les otorga. Según dio a conocer el secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Víctor Lichtinger, quien explicó que este retiro de apoyos forma parte de un cambio radical en la política subsidiaria seguida hasta ahora, y que propiciará que las ciudades exijan cobros justos a sus habitantes.