Universidad Nacional de La Pampa
Secretaria de Investigacion y Posgrado
Maestria en Ciencias Hidricas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Secretaría de Investigación y Postgrado

Maestría en Ciencias Hídricas

Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas

Para la obtención del título de

Magíster en Ciencias Hídricas

"Modelo de Optimización Económica en la explotación del acuífero de Quemú-Quemú, La Pampa"

Autor: Lic. Vanina Celeste Bolaño

Director: Dr. Luis Balestri

Santa Rosa, La Pampa, 30 de Junio de 2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Secretaría de Investigación y Postgrado

Maestría en Ciencias Hídricas

Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas

Para la obtención del título de

Magíster en Ciencias Hídricas

"Modelo de Optimización Económica en la explotación del acuífero de Quemú-Quemú, La Pampa"

Autor: Lic. Vanina Celeste Bolaño

Director: Dr. Luis Balestri

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo sólo fue posible gracias al aporte de muchas personas. A todos ellos quiero agradecer:

A la Cooperativa de Obras, Servicios Públicos y Provisión de Quemú Quemú, (LP), COSYPPRO, a través de la Ing. Silvia Farchetto, que gentilmente recopiló y facilitó la información relacionada al sistema de abastecimiento actual y su funcionamiento.

A la Administración Provincial del Agua de la Provincia de La Pampa, a través del Lic. Jorge Tullio, Lic. Beatriz Buitron e Ing. Miguel Angel Díaz, que permitieron el acceso a los estudios realizados en el área, así como también a los datos sobre la hidroquímica de cada uno de los pozos de los que se abastece la localidad de Quemú Quemú.

Al Ing. Ignacio Pérez Furelos de Gente de La Pampa, Catriló y al Dr. Roberto Otrosky de la Facultad de Cs. Veterinarias (UNLPam) por el asesoramiento en la construcción de los escenarios.

A mi director Dr. Luis Balestri por la gran cantidad de tiempo dedicado y la excelente predisposición.

A la Dra. María Cristina Martín, por los consejos y sugerencias brindadas en el área estadística.

A la comisión evaluadora, Dres. Daniel Iglesias, Carlos Schulz y Armando Llop, por la lectura y los interesantes comentarios que realizaron para mejorar el trabajo final.

En otro plano, quisiera agradecer muy especialmente a German, mi esposo, y a mis padres, quienes me han acompañado incansablemente durante esta etapa.

A Dios gracias por tan importante logro en mi vida.

INDICE

RESUMEN 6

Capítulo 1. Introducción
1.1. Presentación de la Problemática 8
1.2. Objetivos 11

Capítulo 2. Marco Teórico
2.1. El Agua Potable en La Pampa 13
2.2. Economía del agua potable 16
2.2.1. Naturaleza económica del producto agua potable distribuida por redes 16
2.2.2. El concepto de eficiencia en el uso del agua 20
2.3 La demanda urbana de agua potable distribuida por redes 25
2.4 La oferta de agua potable por redes 32
2.5 La empresa prestadora del servicio público de agua potable 40
2.5.1. La función de producción y los costos 40
2.5.2. Naturaleza económica del monopolio natural 46
2.5.3. El equilibrio del monopolista 48
2.5.4. La regulación de un monopolio de servicios públicos 52
2.5.5. Bases económicas de la tarifación de servicios públicos monopólicos 55
2.6 Sistemas de tarifación 59
2.7 Empresas distribuidoras de agua potable 67
2.7.1. Naturaleza jurídica de las empresas distribuidoras de agua potable 67
2.7.2. Características de las cooperativas de servicios públicos 69

Capítulo 3. Aspectos Metodológicos 76
3.1 Modelos Matemáticos de Optimización 76
3.1.1. Modelo y Modelado 78
3.1.2. Etapas en el desarrollo de un modelo 79
3.1.3. Codificación de problemas de optimización 81
3.1.3. a. Lenguajes de modelado 81
3.1.3. b. Lenguajes algebraicos de modelado 83
3.1.4. Optimización económica en la explotación de acuíferos 84
3.1.5. Modelo de optimización de acuíferos 84
3.1.6. La programación lineal como herramienta 88
3.2 El estudio de las series de tiempo 90
3.2.1. Conceptos fundamentales 90
3.2.2. Enfoque clásico 92
3.2.3. Descomposición de las series temporales 93

Capítulo 4. Características del Área de Estudio 97
4.1. Descripción del área de estudio 97
4.2. Características del servicio de agua potable 98
4.3. Climatología 99
4.4. Suelos 102
4.5. Geomorfología 103
4.6. Hidrogeología 104
4.7. Hidroquímica 105

Capítulo 5. Material y método 109
5.1 Material utilizado 109

5.2 Pasos metodológicos 110
5.2.1. Planteo del problema de optimización 111

Capítulo 6. Resultados y Discusión 117
6.1. Análisis de la serie temporal 117
6.2. El sistema de gestión de la cooperativa 120
6.3. Problema de optimización 122
6.4. Costos de Producción 128
6.5. Escenarios 131

Capítulo 7. Conclusiones y Recomendaciones 139

Referencias Bibliográficas 143

Anexo 149
Tabla 1. Mediciones de flúor 149
Tabla 1. bis. Mediciones de arsénico 149
Tabla 2. Consumos de agua diarios 150
Tabla 3. Consumos de agua mensuales 151
Tabla 4. Valores guía según diferentes organismos. 152
Tabla 5. Evolución temporal de Arsénico y Flúor 152
Tabla 6. Base de datos para operar con SOLVER 153
Informes de Respuesta SOLVER 155

RESUMEN

El objetivo general de este trabajo es optimizar las decisiones de producción de agua minimizando los costos de acuerdo al principio cooperativo, pero tomando en cuenta las otras funciones del agua incorporadas a través de las restricciones sanitarias y de sustentabilidad; mediante el planteo de un modelo de optimización económica para la explotación del acuífero perteneciente a la localidad de Quemú Quemú, provincia de La Pampa.

El modelo fue desarrollado a partir del propuesto por Ferreiro Chao en 1990. En el mismo desarrolla una serie de variables y funciones que intentan explicar el funcionamiento de estos sistemas, empleando la programación lineal como principal herramienta para su resolución.

Como primera fase de este estudio, se analizó estadísticamente mediante el procedimiento clásico para series de tiempo a los consumos mensuales de agua durante 2001 y 2009, a fin de conocer la tendencia de los mismos, conforme se produzcan aumentos poblacionales y de esta manera realizar pronósticos que permitan el planteo de escenarios futuros. El consumo mensual presentó una leve tendencia ascendente. Posteriormente se analizó la serie de consumos diarios durante diciembre de 2008, y febrero de 2009, para obtener el dato de demanda necesario para el planteo del modelo mediante la técnica exploratoria. El valor de consumo de agua medio diario, resultó ser 965 m^3 y un desvío estándar de 103,58 m^3. Se obtuvo un valor máximo de 1389 m^3 que se comporta como outlier, y será empleado luego para el planteo de un escenario futuro.

Para resolver el modelo, se empleo el programa SOLVER, complemento de Excel, perteneciente a Microsoft que resuelve problemas lineales de estas características a partir de una serie de restricciones que deberá cumplir para encontrar la función objetivo. El proceso de solución consiste en pruebas sucesivas o iteraciones durante las cuales, el programa utiliza un conjunto nuevo de valores de celdas cambiantes para volver a calcular la hora, examinando las restricciones y los valores de celda óptima. El proceso se detiene cuando encuentra una solución de precisión satisfactoria, cuando ya no es posible avanzar o cuando alcanza el tiempo máximo permitido o el número máximo de iteraciones.

Se concluye entonces lo siguiente: el sistema actualmente realiza un aprovechamiento racional del acuífero; y el modelo desarrollado le permitirá trabajar minimizando sus costos sin alterar la regulación sanitaria y de protección del acuífero. No obstante se observa una leve tendencia ascendente en los consumos mensuales, lo que podría indicar que al cabo de un tiempo, tendrá algunas dificultades de operación dentro del marco regulatorio, pero ninguna de ella demasiado severa, ya que podría subsanarse flexibilizando las horas de explotación o construyendo alguna perforación adicional.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Presentación de la Problemática

La economía de los recursos naturales tuvo un inicio paralelo con el de la economía en general. Entre los principales temas abordados, se encuentra el diagnóstico de los ritmos de explotación (agotamiento) de los recursos renovables con especial énfasis en la determinación de las tasas óptimas de utilización de los mismos y la posibilidad de mantener un crecimiento sostenido que asegure la continuidad del recurso. (Ferreiro Chao, 1990)

El término recurso es una abstracción que refleja la valoración humana y que se relaciona con una función o una operación

No obstante la realidad muestra que existen diversas apreciaciones respecto de lo que es un recurso natural, del papel que juega y de cómo hay que considerarlo y gestionarlo.

Una de las nociones de recurso natural que consideramos adecuada para facilitar la comprensión de los problemas relacionados con la gestión de los mismos y sus costos, tiene que ver con las funciones que desempeña , es decir, la palabra recurso no se refiere ni a una cosa ni a una sustancia, sino a una función que una cosa o una sustancia pueden realizar o a una operación en la cual pueden tomar parte, es decir, la función o la operación de alcanzar un fin dado, tal como satisfacer una necesidad.

El agua potable cumple múltiples funciones y la mayoría de ellas son competitivas, por lo cual, del uso excesivo pueden resultar pérdidas de función. Dichas pérdidas no se reflejan en el cálculo económico de costos.

En otras palabras, se trata de aplicar el criterio de mantener las funciones ambientales en un nivel sostenible, utilizando posteriormente un análisis del tipo costo-eficiencia a fin de evaluar la manera menos costosa de alcanzar dicho nivel. De ello deriva la importancia de conocer los costos, como una necesidad imperiosa para la gestión en la prestación centralizada del agua potable. Significa tener conocimiento de los recursos que se han movilizado para producir tal hecho y poder programar su recupero de un modo razonable y eficiente.

No obstante, uno de los problemas más comunes que se presentan en las empresas que realizan el servicio de captación, potabilización y distribución de agua potable es la optimización de la producción sostenible de agua y la falta de una contabilidad de costos que permita conocer con certeza el esfuerzo realizado en la prestación, considerando en los valores del consumo actual, el impacto que dicha utilización presente puede tener en las generaciones futuras.

Trabajos recientes, llevados a cabo en el norte de la provincia de La Pampa, indican que algunos prestadores de agua potable no están ajenos a esta situación. El caso concreto del abastecimiento de agua a la ciudad de General Pico es un ejemplo de una fuente en estrés donde correspondería realizar tal valuación del insumo.

El caso puntual de la Cooperativa de Servicios y Provisionamiento (COSYPRO) de Quemú-Quemú es particular, ya que conocen y respetan el límite de extracción sin llegar a una situación de estrés; no obstante, existen algunos hechos que hacen presumir que opera bajo el viejo paradigma económico y con escasas posibilidades de un paso rápido al proceso de una correcta "gestión de demanda" (Balestri y Schulz, 2005)

La posición de COSYPRO presenta interesantes ventajas con respecto a las cooperativas que operan con alto estrés del sistema. Pero, presumimos que esas ventajas provienen de la relación entre disponibilidad de agua a ofertar y tamaño de la demanda a servir y no por ejecutar decisiones cercanas a la consideración del agua como un "activo ecosocial" (Aguilera, 1998). Esta idea de algún déficit de gestión proviene de verificar que en los últimos diez años presenta una tendencia creciente de sus consumos.

Vale la pena recordar que considerar al agua como un "activo ecosocial" supone asumirla en el concepto funcional del agua como recurso natural que ya explicamos. Desde esta mirada, el agua no sólo es esencial para la supervivencia biológica, sino que es una condición necesaria del desarrollo y sostenimiento de la economía de la estructura social que hace posible la sociedad. En consecuencia, no debe considerarse sólo un bien económico, sino un imperativo central de la supervivencia, sostenimiento, continuidad y vida de la comunidad. (Utton, 1985).

Si la multifuncionalidad descripta es ignorada en las decisiones se agudiza el conflicto entre las diferentes funciones, generándose una nueva escasez que se hace explícita a través de la incapacidad del recurso de satisfacerlas.

La propuesta trabajada considera la gestión del agua, no como un elemento aislado, sino como el gerenciamiento de un sistema abierto y desequilibrado en calidad asociado a la cantidad. De allí la importancia de decidir pensando no solo en las cuestiones económicas, sino también en las sanitarias y las ambientales.

El paradigma que consideramos superado, pero que rige los estilos de gestión de la mayoría de las empresas prestatarias es el conocido como "economía expansionista del agua". Este modo de decidir está centrado en considerar el agua sólo como "una necesidad" que había que satisfacer sin importar demasiado como. Es una necesidad como bebida y como factor productivo y el agua tenía que estar. No hace demasiado hincapié en costos, ni en construir obras o calidades. Huelga aclarar que la otra mirada no niega la presente, simplemente la amplía al considerar el abastecimiento del agua como un sistema y verificar una multifunción en su cumplimiento.

El otro aspecto a considerar tiene que ver con la calidad del agua captada por la presencia de elevados tenores de flúor y arsénico, con las implicancias que esto conlleva en la salud humana. También aquí resulta necesario tomar en cuenta esta problemática, que podríamos definir como sanitaria, ya que los entes prestadores están obligados a entregar un agua considerada inocua para la salud. Es indudable que en decisiones de optimizar la producción de agua potable, el "criterio sanitario" debe considerarse con la misma importancia que el "criterio económico" descrito en los renglones anteriores.

Quedaría una tercera faceta a tomar en cuenta y que está vinculada a la problemática de sustentabilidad de la fuente de agua. Un acuífero sobreexplotado estará expuesto a una degradación continua que puede provocar su inutilización para consumo humano. Hablaríamos en este caso de la existencia de un “criterio sustentable” que, una vez más, será necesario incorporar al proceso de decisión óptimo. En este caso el criterio se traduce en el respeto a la cantidad diaria de horas de operación de cada una de las bombas extractoras y al límite de caudal a extraer de cada perforación.

En tal sentido, se torna imprescindible desarrollar un modelo de gestión tendiente a la optimización económica, sustentable y sanitaria del abastecimiento de agua a la localidad de Quemú Quemú

A partir de los párrafos que anteceden formulamos la problemática que pensamos abordar a partir de nuestros estudios: ¿realiza la Cooperativa una gestión que la aproxime a la “nueva economía del agua” (Aguilera Klink, 1998)? ¿Al menos, está cercana a “gestionar la demanda”? ¿Utiliza herramientas de optimización de sus decisiones? ¿Produce en una escala óptima?

Nuestra hipótesis es que su sistema de gestión es un clásico gerenciamiento de la etapa de la economía expansionista del agua y no se preocupa demasiado por optimizar sus decisiones, razón por la cual, a partir de su verificación nos proponemos desarrollar un “programa” que permita una mejora el proceso de decisión respetando el criterio económico cooperativo de realizar la prestación el menor costo, con las exigencias de brindar una agua inocua y adecuada a la salud, garantizando la sustentabilidad del acuífero.

Cabe mencionar, el trabajo realizado por el Balestri (1999) como parte de su tesis doctoral en la Universidad de Córdoba (España) denominada “Optimización sustentable del abastecimiento de agua potable a la ciudad de General Pico mediante una estrategia de precios”, como antecedente en el tema a nivel nacional.

Consideramos que nuestra investigación será de suma utilidad para el ente prestador del servicio pues permitirá conocer situaciones que presumimos no observadas en su proceso gerencial. Pero además, la devolución a través de un programa de optimización de la producción de agua garantizando sanidad y sustentabilidad facilitar realizar la mezcla adecuada del agua que diariamente se extrae de cada perforación.

1.2 Objetivos

Identificar las variables críticas de la explotación del agua potable a partir de sus datos de extracción y sus análisis biológicos, físicos y químicos.

Calcular distintas modalidades de costos de explotación y administración del agua.

Verificar si las decisiones gerenciales están respaldadas en el paradigma de la economía expansionista del agua, que la considera como un mero factor productivo y consumo humano o de la nueva economía del agua que la considera como un activo ecosocial.

Optimizar las decisiones de producción de agua minimizando los costos de acuerdo al principio cooperativo, pero tomando en cuenta las otras funciones del agua incorporadas a través de las restricciones sanitarias y de sustentabilidad

Reproducir el modelo para que sea incorporado en la gestión cotidiana de la cooperativa y permita la incorporación de otras variables

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 El Agua Potable en La Pampa

A efectos de la localización de las actividades humanas, el agua ha de considerarse desde tres puntos de vista: como recurso, como medio receptor de residuos y como ecosistema. Desde el punto de vista del recurso, el agua debe ser inventariada fundamentalmente en términos de cantidad y calidad en función al uso que se le destine.

Se ha definido a la calidad del agua como resultado de dos mecanismos principales: 1) las acciones antrópicas y 2) la dinámica del ciclo hidrológico, y de sus interacciones en el espacio y en el tiempo. Por tanto, la gestión de la calidad de las aguas debe considerar ambos mecanismos que puedan se descriptos como procesos estocásticos, en la medida que uno u otro mecanismo estén gobernados por las leyes de cambio. (Schulz, et al., 2005).

La evaluación del agua subterránea ha sido una tarea que ha adquirido gran importancia en las últimas décadas en nuestro país, como consecuencia del incremento de la demanda por el recurso. Así, tanto las personas involucradas directamente con el sector hidráulico como aquellas relacionadas de manera indirecta, han prestado mayor interés en los conceptos hidrogeológicos que forman la base en el estudio de las aguas subterráneas. Es conocido que el agua, posee un comportamiento sumamente dinámico conocido como ciclo hidrológico, donde diversos procesos ocurren en forma continua y con grandes desplazamientos de masa.

La intervención humana en los sistemas naturales, implica la alteración de algunos o varios de los factores naturales, modificándose de esta manera la interacción entre ellos, y por lo tanto, el equilibrio sistémico (Montico y Pouey, 2001). Cabe mencionar, que la degradación de la calidad del agua y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, son los mayores problemas que enfrenta la gestión de los recursos hídricos en América Latina (CEPAL, 1999).

Se considera que el deterioro constante de la calidad de este recurso, originado por diversas causas, entre ellas la sobreexplotación, es el mayor problema que enfrentan los responsables de su gestión (AUGM, 1998). Aun no se advierte claridad respecto de los métodos funcionales que se implementarán para formular políticas, lograr la coordinación institucional, solucionar conflictos y planificar y ejecutar proyectos.

El aprovechamiento y gestión del agua debe basarse en un planeamiento que implique la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.

Coincidiendo con Fernández Jauregui (2001), la gestión de los recursos hídricos en la región pampeana debe abordarse desde un enfoque multidimensional y multiobjetivo, reconociendo al agua como un activo ecosocial (Aguilera Klink, 1998), concepto superador de “bien económico”, ya que involucra su naturaleza de indispensable para el crecimiento y el desarrollo.

En el caso de la Provincia de La Pampa, el agua subterránea era la principal fuente de abastecimiento. Como dijera Schultz et al (1998) era un sistema que dependía casi exclusivamente de ese recurso como elemento primordial para el sustento y el desarrollo. La construcción de un acueducto que trae agua desde el Río Colorado hasta la ciudad de Santa Rosa alteró en parte esta situación, ya que más allá de los diversos desperfectos que padece, más de la mitad de la provincia empieza a estar abastecida desde esta otra fuente de naturaleza superficial.

En aquellos lugares, entre los cuales se encuentra Quemú Quemú, las posibilidades de obtener agua potable, se ven disminuidas, por presentarse éstas con elevados contenidos principalmente de arsénico, flúor y vanadio, lo que las hace no aptas para el consumo humano.

El problema del arsénico en el agua de bebida se viene tratando en Argentina desde hace varios años cuando epidemiólogos de Córdoba y otras provincias de ese país evidenciaron y asociaron la enfermedad del HACRE (daños a la piel) con la presencia del arsénico en el agua de bebida. (Schulz et al., 1998).

Representa un alto grado de complejidad poder delimitar zonas con distintos valores, ya que su comportamiento es distinto según se lo considere en su distribución horizontal o vertical. Es importante destacar que son numerosas las áreas que sobresalen del resto por su elevado contenido arsénico (Schulz et al., 2002).

No obstante lo citado precedentemente, también se presenta en menores cantidades en otras lugares y departamento del norte de la provincia, coexistiendo con sectores acuíferos portadores de aguas de muy buena calidad, fundamentalmente aquellas ligadas a ámbitos arenosos, de médanos o de recarga, de donde se extrae el agua para los servicios de provisión.

La prestación de los servicios de provisión de agua la hacen las cooperativas en más del 80% de los casos, y los municipios y/o Comisiones de Fomento al resto de la población. Se puede concluir que las aguas subterráneas constituyen un importante y seguro recurso para la provisión de agua potable, compartiendo con Balestri y Castro (2009) la afirmación de que las cooperativas de servicios son los entes más eficientes en la prestación del servicio (Balestri y Castro, 2009).

La calidad del agua que se consume es un dato de enorme significación dado que es muy frecuente la presencia en exceso de flúor y arsénico en los acuíferos disponibles para su explotación.

Sin entrar a analizar las distintas valoraciones que pueden darse al significado de la palabra Servicios Públicos ni lo que debe entenderse como tal, podemos convenir que la provisión de agua potable a una comunidad, en la mayor parte del mundo, es función indelegable del estado, quién puede brindar el servicio en forma directa, a través de empresas mixtas de carácter público o de concesionarios, que pueden ser entidades de carácter social como las cooperativas u organizaciones lucrativas de carácter comercial como las empresas privadas.

Lo que no admite discusión es la certeza en que existe una primera razón en considerar al agua potable como un recurso de **primera necesidad**, imprescindible para la vida y el desarrollo humano y que desde las sociedades mas primitivas hasta las mas complejas y altamente industrializadas de la actualidad, un requisito que ha sido y es fundamental, no meramente para el progreso del hombre, sino para la supervivencia misma, es el abastecimiento de agua potable en forma adecuada.

Y es así, que más del 70% de la materia viviente está constituido por este vital elemento. Es en función de ello que la disponibilidad de este recurso ha condicionado el desarrollo de la cultura a través de la larga historia registrada del hombre y se puede afirmar, con absoluta certeza, que el agua ha influido siempre en la verdadera dimensión de la civilización.

Existe una segunda razón para encuadrar al agua potable como una función indelegable del estado. En efecto, el agua es el vehículo de entrada en nuestros domicilios pudiendo transportar epidemias, enfermedades, intoxicaciones colectivas y distintas patologías bacterianas. Ello implica entonces que está íntimamente ligada a la **salud pública** y por lo tanto debiera estar sujeta a los controles sistemáticos del estado para evitar enfermedades derivadas de esta cuestión.

El desafío entonces está en como armonizar estas dos razones mencionadas con una tercera que contemple la otra faceta del sistema que, de alguna manera lo sustenta, como lo es el económico. Esta tercera razón que contempla al recurso como un **bien económico**, debe basarse en principios alejados a ecuaciones cuyos resultados sean únicamente la alta rentabilidad y ganancias, para acercarse mas a lo solidario. En ese sentido y con ese espíritu, la Provincia de La Pampa, ha sido una incansable fomentadora de los entes Cooperativos que, en la mayoría de los casos, son los concesionarios de los servicios en su ámbito. (Schulz, et al. 1998)

En la Provincia de La Pampa se han logrado importantes avances a partir de la profundización en los estudios hidrogeológicos. Como consecuencias de ello, se ha llegado a abastecer casi en su totalidad a la población urbana. En tal sentido, las cooperativas son entidades que se adaptan perfectamente a los requerimientos de un servicio público que constituye un monopolio natural.

El servicio medido demuestra que, con tarifas adecuadas y razonables, contribuye a enmarcar la gestión del recurso dentro de pautas sustentables.

Al menos en la Provincia de La Pampa, existe una clara tendencia a la cooperativización de los servicios públicos. No obstante, en la ciudad capital de la Provincia (Santa Rosa) el servicio es prestado por el municipio.

Si bien se encuentran en las aguas subterráneas elementos perniciosos para la salud, tales como el Flúor, Arsénico y Vanadio, en la mayoría de los casos, ofrecen un alto grado de seguridad a la salud pública.

Es posible abastecer a la provincia, razonablemente y de manera sustentable a generaciones futuras mediante las aguas subterráneas (Schulz, et al. 1998)

2.2 Economía del agua potable

2.2.1 Naturaleza económica del producto agua potable distribuido por redes

El agua potable que bebe la mayoría de las familias argentinas, abastecido por una red de distribución que permite la llegada del bien a cada uno de los hogares, es un producto de una naturaleza sumamente compleja.

Una primer característica que conviene citar y dejar bien en claro es que se trata de un bien escaso y, como tal, susceptible de valoración económica. Contrariamente a lo que solía considerarse en un tiempo, que por su abundancia el agua era un bien libre; la sujeción al principio de escasez actualmente lo transforma en un bien económico.

“La escasez es un concepto relativo, en el sentido de que existe un deseo de adquirir una cantidad de bienes y servicios mayor que la disponible” (Mochon y Becker, 1993). Este problema obliga a las personas a elegir la forma que adoptarán sus decisiones de consumo para satisfacer sus necesidades, virtualmente ilimitadas. Esta es la raíz del problema económico, y el bien agua potable se encuentra dentro de esta problemática; aunque con algunas particularidades que lo hacen especial.

La caduca caracterización que llevaba a pensar que podría tratarse de un bien libre; es decir, tan abundante que su apropiación por los consumidores no estaba condicionada y carecía de valor económico; en los tiempos recientes, y producto de una severa toma de conciencia sobre las condiciones que debe reunir para ser considerado susceptible de bebida por los humanos, pasó a ser considerado un bien escaso. Desde el punto de vista de la economía lo llamamos bien económico; es decir, que existe un deseo de adquirir una cantidad mayor que la disponible. Como tal, su apropiación significa el reconocimiento de un valor y la existencia de un mercado donde habrá oferentes y demandantes**.**

Un segundo elemento caracterizador del bien agua potable es que se trata de un bien de primera necesidad, imprescindible para la vida humana, ya que la misma es imposible de desarrollar en la carencia de agua. Esta naturaleza de bien de primera necesidad lo torna básico en las decisiones de las personas al momento de elegir su consumo. Desde este punto de vista integra el conjunto de bienes que un individuo trata de cubrir inicialmente, junto a los que satisfacen otras necesidades de naturaleza biológica (alimentación, vivienda y vestido).

Una tercera característica que transforma en especial al agua es, no sólo su naturaleza de bien escaso y de primera necesidad, sino que existe una gran probabilidad de que pueda transformarse en un vehículo productor de epidemias, intoxicaciones colectivas y distintos tipos de enfermedades. Esta tercera característica compleja del bien agua potable lo vincula a la problemática de la salud pública. Es decir, la acción del Estado tendiente a disminuir los riesgos y las enfermedades de la población. Este hecho subordina la distribución del agua potable a los controles que el Estado realiza, en su acción de tratar de garantizar la salud de las personas y evitar poblaciones enfermas.

Este bien escaso que está disponible en el medio ambiente es de muy fácil contaminación, ya sea por hechos del hombre o por factores naturales. Circunstancia que define la nueva caracterización del agua potable como un bien que está sujeto a las regulaciones y políticas de conservación del medio ambiente. Es probablemente, junto con el aire, uno de los bienes donde más impactan las externalizaciones de costos y los procesos de urbanización, que alteran el ciclo hidrológico natural provocando el deterioro de este bien. Por dichos motivos el agua queda incorporado como uno de los principales bienes cuya explotación está limitada por regulaciones referidas al mantenimiento del medio ambiente.

Al analizar la prestación de este servicio mediante una red de distribución a cada domicilio, se observan profundas barreras de entrada, de naturaleza económica y tecnológica, para las empresas que pudieran estar interesadas en competir por esos mercados. Por esta razón existirá, al menos con las tecnologías actuales, una única

empresa abastecedora. Lo expuesto permite concluir que se trata de uno de los típicos monopolios naturales, comunes en la distribución de servicios públicos. Este es otro de los aspectos por el cual requiere de una regulación por parte del Estado. El mismo motivo justificó, en muchos casos, la prestación por el Estado y la concepción como servicio público.

La sujeción a razones de salud pública, las políticas medio ambientales, la naturaleza de bien de primera necesidad y el hecho de constituir un monopolio natural son, quizás, las causas que llevaron a considerar la distribución del agua potable como un servicio público.

Este carácter de servicio público aun reconocido en la legislación argentina, está presente en la mayoría del mundo.

En muchos países del mundo en los cuales se llevó a cabo un proceso de privatización (entre ellos Argentina), la naturaleza del agua potable como bien susceptible de ser tratado como servicio público, está en discusión. En otros, subsiste este concepto con mucha fuerza. Esta definición cobra importancia en la determinación acerca de si el servicio puede ser prestado a través de iniciativa privada o hay que esperar un acto administrativo del Estado para ejecutar su prestación.

Concebida la distribución del agua potable como correspondiente al Estado; su gestión puede ser realizada directamente por la administración central, por empresas públicas, mixtas o ser concedida a empresas privadas. Dentro de este último grupo se encuentra la empresa gestora del servicio de Quemú Quemú de naturaleza cooperativa.

Por último, por las características nombradas, puede afirmarse que el servicio de distribución de agua potable es mayoritariamente de naturaleza local. Es decir, su prestación aparece normalmente reducida a una jurisdicción municipal determinada. No obstante, no es una constante absoluta, ya que no existe impedimento para desarrollar empresas de naturaleza regional o que operen acueductos de abastecimiento.

En el caso de la Provincia de La Pampa, desde la inauguración del Acueducto del Rio Colorado, desde Santa Rosa al sur nos encontramos con una empresa provincial de carácter regional que capta y transporta el agua hasta los centros poblados donde el servicio sigue siendo local. En el resto de la Provincia, se impone la naturaleza local para la totalidad de las operaciones que supone un servicio de agua potable.

Como decíamos, en La Pampa es clara la competencia municipal del servicio, aunque la legislación vigente mantiene un severo control sobre la extracción de agua, ya que los acuíferos son propiedad provincial. Vale aclarar la competencia sobre el control de su explotación, aunque no realiza ningún cobro por la utilización del agua.

El carácter complejo del producto agua potable obliga a realizar un análisis de su problemática desde aspectos muy abarcativos, quizás sea precisamente ello lo que obliga a realizar un enfoque multidimensional.

Se pueden agregar algunos otros antecedentes que llevan a este enfoque. Los datos existentes indican que, en términos generales de cantidad, ". . . la oferta de agua supera la demanda y . . . en un futuro previsible no habrán problemas mayores de abastecimiento" (Fernández Jáuregui, 1994).

Sin embargo son detectables algunas cuestiones:

- El continente asiático, que tiene el 60% de la población mundial, cuenta solamente con menos del 30% de la provisión de agua.

- En el ámbito mundial, prácticamente el 74% del agua se usa en la agricultura. La industria y la minería utilizan un 22% y, finalmente, queda un 4% para el consumo doméstico en las ciudades

- Si se abandona la visión estática e incorporamos un análisis de tendencias, es esperable un crecimiento de la población traducible en un aumento de la demanda, frente a una oferta de agua de crecimiento negativo; debido al impacto de las explotaciones sobre los recursos hidráulicos.

Tenemos, entonces, que la distribución de agua es un tema controvertido, particularmente en las zonas áridas y semiáridas, al cual se agrega como hecho novedoso la transferencia de estos servicios desde el concepto de propiedad común o propiedad pública al de propiedad privada.

Existen también opiniones divergentes sobre el orden jerárquico del consumo de agua entre sus aplicaciones alternativas. En algunos casos, como en la provincia de La Pampa y la mayoría de las regiones argentinas, hay una clara prioridad de utilización en el consumo humano, luego en la producción de alimentos y finalmente en la aplicación industrial. "Sin embargo este criterio ha causado numerosos conflictos debido a que en muchos países la prioridad de la estrategia de desarrollo no es necesariamente el mejoramiento de la calidad de vida a través de la higiene pública y la buena salud, sino a través del desarrollo de la industria y las exportaciones (alimentos y productos terminados)" (Fernández Jáuregui, 1994).

Esta situación podría ser resuelta mediante la puesta en marcha de un plan estratégico para el uso múltiple y la conservación de los recursos acuíferos. Pero este tipo de herramientas de planificación son prácticamente inexistentes y, si en algún caso

existiera tal plan, la influencia asignada a los criterios es el resultado de políticas de corto plazo fundadas en un erróneo oportunismo político por no prever un horizonte mayor al de un período de gobierno.

Finalmente, cabe remarcar el derecho de los seres humanos al agua limpia y a la salubridad pública a un precio accesible; pero, paralelamente, hay que reconocer que la falta de una adecuada valoración del recurso agua abrió el camino para su desperdicio y mal uso, con efectos negativos sobre el medio ambiente. Es decir, se presupone con fundamento que el valor asignado al agua es menor que el que correspondería, y ello es ocasión propicia para su uso ineficiente.

Toda esta complejidad, a la que se pueden agregar nuevos ejemplos, está afirmando que la problemática del agua sólo puede abordarse desde un análisis global, enfocándola como un "*sistema hidroeconómico multidimensional*", tal la propuesta de Fernandez Jauregui (1994)

2.2.2 El concepto de eficiencia en el uso del agua

El concepto de factores de la producción marca un primer paso para el estudio de la eficiencia. Los economistas aseveran que hay tres factores generalizados implícitos en todas las actividades productivas: tierra, trabajo y capital. También hay que considerar las distintas formas en que se pueden combinar esos factores, lo que recibe el nombre de tecnología, y a quien gestiona su combinación, llamado empresario. Ambos conceptos son asimilados como factores adicionales a los anteriores.

Cabe aclarar que el factor tierra no sólo significa la cantidad física de tierra disponible, sino que también se refiere a los recursos naturales que en ella se encuentran. A esos recursos la empresa gestora ha de agregar trabajo, capital y tecnología para la producción de agua potable.

Existen infinitas combinaciones de estos factores y el problema planteado es encontrar un modelo que permita su resolución de la forma más eficiente posible.

La más eficiente, entonces, depende del precio relativo de cada factor. La combinación óptima del aporte de cada uno al proceso productivo ocurre cuando sus precios marginales son iguales. Cuando alguno de ellos tiene, por cualquier motivo, un precio muy bajo o igual a cero el usuario tiende a usarlo tanto como lo necesite y aún a veces más; y este es uno de los problemas más graves que ocurre en el manejo de los recursos del medioambiente.

Desde un enfoque histórico el agua pertenece a los recursos que se llaman de propiedad común, accesible a todos por igual. “Un recurso de propiedad común es aquel cuyos servicios son utilizados, tanto en la producción como en el consumo, y que no es propiedad de ningún individuo concreto. Ejemplo de este tipo de situaciones pueden ser los bancos de pescas en aguas internacionales, los pastos comunes o las vías públicas además de la mayoría de las situaciones planteadas para el agua” (Mochon y Becker, 1993).

Parafraseando a estos autores, cabe considerar que el acceso sin restricciones a este tipo de recursos puede conducir a un uso intensivo de los mismos y, en algunos casos, puede llegar a hablarse de congestión. Puede llevar también a otros tipos de ineficiencias, puesto que se debilitan los incentivos de los individuos que toman decisiones para invertir en mejoras tendientes a incrementar la productividad del recurso. Cuando un individuo concreto no puede impedir o excluir que otros utilicen el recurso, no realiza la inversión; ya que sus beneficios se difunden a todo el resto de individuos en vez de beneficiarlo sólo a él. La misma situación puede darse con la restricción voluntaria de la explotación de un bien común.

Aún si se diera el caso de que la proporción de beneficios que recaen sobre un individuo excediera su costo, la inversión no se llevaría a cabo si cada individuo creyera que puede beneficiarse de la inversión que realicen los otros. Debido a la no exclusividad, la inversión que hagan los demás es un sustituto de la inversión que hace el individuo en particular y, si todos se dan cuenta de esto, no se realizará ninguna inversión.

En conclusión, en un régimen de propiedad común, los precios del agua son muy bajos o nulos (acaso el costo de extraerla si es subterránea o embalsarla si fuese superficial). Como se indicó, cuando el precio de un recurso es muy pequeño con relación a otros, se usa sin tomar en cuenta ni la cantidad, ni la conservación.

Según Tate (1994) “este factor básico juega un papel importante para explicar la razón por la cual el uso del agua es alto por unidad de producción; el reciclamiento rara vez alcanza su pleno potencial. y el uso de agua per cápita el más alto en algunos países que en otros. En otras palabras, cuando los precios del agua son bajos en relación con el costo de otros influjos y en relación con el costo de desarrollo de los suministros, la eficiencia en el uso del recurso es baja”.

Estas consideraciones respecto al precio de obtención de agua también son fundamentales para explicar el porqué de la contaminación. La mayor parte de las actividades socioeconómicas requieren que los desechos de productos secundarios sean removidos. La remoción de desperdicios, en la mayoría de los casos, requiere el uso de recursos del medio ambiente, como el agua. Cuando este elemento está disponible sin

costo alguno, es invariablemente más económico que cualquier otra alternativa para la remoción de esos desechos. La aplicación de este criterio conduce directamente al problema de la contaminación del agua. A partir de todo este análisis, Tate (1994) concluye que:

- El nivel de atención que se presta al uso eficiente del agua es directamente proporcional a los precios cobrados por su servicio.
- El alza de precios conduce a un incremento en la atención que se presta al uso del agua, que redundará en aumento de su eficiencia.
- Cuando los precios del agua reflejan los costos sociales del desarrollo de suministros, se crean incentivos para usar el recurso de manera eficiente y razonable, reflejando su valor en la producción o en sus varios otros usos.

El tema de la eficiencia en el uso del agua está muy relacionado con los sistemas legales que lo regulan. Probablemente aquí se encuentra con una de las dificultades más serias para una regulación apropiada: "*el síndrome el agua es diferente*".

Kelso (1967) dice que cuando se realiza un análisis de las ideas dominantes acerca del agua, para encontrar alguna explicación de las peculiaridades de las políticas e instituciones que actúan en su comercialización, nos encontramos con el síndrome de "*el agua es diferente*". Síndrome significa un conjunto de signos y síntomas que se producen simultáneamente y caracterizan una enfermedad. En el caso concreto de la industria del agua, afirma que padece una enfermedad porque "las políticas y las instituciones que la rigen no le permiten operar al nivel óptimo de la eficiencia económica". La filosofía de "*el agua es diferente*" es ese conjunto de síntomas nucleares que caracterizan la dolencia de la industria.

El síndrome descrito hace que el agua sea tratada de manera distinta, evitando la actuación privada en un sistema de mercado para racionar los usos probables entre las personas. En general, los sistemas legales evitan en el derecho de aguas el sistema de propiedad privada que caracteriza a la mayor parte de los demás recursos, legislando a favor de la propiedad pública, común y colectiva.

A partir de esa forma adoptada por la legislación, el síndrome se revela en el tratamiento institucional que recibe el agua y en las reglas de juego que se definen para controlar las acciones de las personas que explotan, utilizan y asignan el agua en nuestra sociedad.

Kelso (1996) opina que "la raíz del comportamiento de la gente está en lo que se denomina la imagen". Por tal debe entenderse aquello que uno cree que es verdad, el propio conocimiento subjetivo.

No obstante, hay que reconocer cierto sentido singular al bien agua. Por su comportamiento físico y por sus relaciones con la satisfacción de algunas necesidades del hombre difiere de la mayoría de los demás recursos en tres aspectos:

- El agua fluye. Por su carácter dinámico se producen cambios en su cantidad y calidad, debido a su utilización en un lugar y en un momento dados, que pueden afectar a otros usuarios en otros lugares y en otros momentos. Este es su efecto externo.
- Como no toda el agua se consume y ya se vio en la parte introductoria, el agua pasa fácilmente al suelo y a la atmósfera. Por su continuo fluir su volumen se recupera en forma continua y puede utilizarse repetidamente, aunque a veces con un deterioro en su calidad. Esta es su particularidad cíclica.
- Dado que en muchos de los usos del agua pueden ser realizados por cualquier persona que se halle en disposición de utilizarlos, es muy difícil para el productor de esos usos sustraerlos del consumo hasta que haya obtenido su precio como generalmente ocurre con el resto de los recursos. Esta es la propiedad de consumo colectivo.

La ausencia de señales de precios tiende a la explotación y a la asignación del agua como si su origen fuera gratuito (situación normal en Argentina y en La Pampa donde no se paga nada por extraer el líquido elemento del subsuelo). Como se vio al analizar los bienes gratuitos, cuando la demanda creciente hace escasa el agua, la misma debe ser racionada de alguna manera entre los usos y los usuarios que compiten por ella, o en su defecto, como ocurre en nuestro caso pampeano, llegar a la sobre explotación de la fuente con serios riesgos de su deterioro o destrucción. De cualquier forma, esta creencia obliga a recurrir a reglamentos administrativos que normalmente son contrarios a la flexibilidad que debe tener la asignación de agua.

El abastecimiento nos plantea una segunda cuestión: ¿cuál es la cantidad adecuada de bienes que corresponde a cada uno?. En el caso de la educación la situación es más clara, pues existen normas que fijan los estudios obligatorios que se deben adquirir; pero, en casos como la distribución de agua potable, la situación no es tan clara.

Una tercera cuestión, relacionada con los bienes públicos y los preferentes, está referida a la forma en que los gobiernos toman las decisiones que los afectan. El problema es cómo traducir todas las diferentes opiniones en una idea coherente que sea recogida por el gobierno y traducida a políticas de impuestos y transferencias.

Dejando de lado estas últimas discusiones, en la cultura argentina no cabe duda que el agua potable obtenida a través de una red es tratada como un bien preferente. Su característica de esencial a la vida, más allá de las imágenes de Kelso, y el hecho de

poder transformarse en vehículo de muchas enfermedades y epidemias justifican esta consideración del agua destinada al consumo humano

Al realizar un enfoque integrador, hay que agregar un enfoque medioambiental. En este sentido, se vuelven importantes las consideraciones sobre la calidad de agua. La cantidad y la calidad del agua son aspectos que están estrechamente relacionados, de manera que las acciones que afectan una dimensión tienen efectos inevitables sobre la otra. La sobreexplotación de una capa acuífera indudablemente puede causar su destrucción para uso futuro.

Es necesario trasladar los criterios de eficiencia anteriormente definidos a la toma de decisiones de los entes responsables de la prestación de servicios. Por dicho motivo es interesante transcribir algunos procedimientos de evaluación definidos por la OCDE (Organización de la Cooperación y Desarrollo Económico) en el año 1987. Según la cual, existen dos criterios a tomar en cuenta: a) los métodos adaptados deben reducir el uso o el consumo del agua, y b) deben ser socialmente benéficos en el sentido de costo-beneficio.

Cualquier método para incrementar la eficiencia en el uso del agua, entonces, se ha de someter a una evaluación técnica a fin de determinar si la modificación propuesta reducirá el consumo de agua. Las evaluaciones técnicas han de involucrar el concepto de eficiencia de la ingeniería, que básicamente mide la relación entre el agua que se bombea a un sistema y el agua que recibe el consumidor final. Además se debe realizar una evaluación económica y medio ambiental, pero es conveniente comenzar por la evaluación técnica, ya que una medida propuesta puede ser abandonada sin necesidad de proceder a los cálculos económicos.

El segundo de los criterios recomendados tiene que ver con el concepto de eficiencia asignativa, ya que está relacionado con el valor del agua como recurso escaso. “la preocupación con la eficiencia económica del uso del agua crea un interés por los valores netos del agua en usos alternativos, y por saber si las instituciones existentes son lo suficientemente flexibles para permitir la asignación de los suministros existentes, de tal manera que toda la sociedad derive un valor óptimo de estos suministros. . . El logro de la eficiencia asignativa y el uso de recursos es un objetivo importante de la política económica ya que significa que la economía está alcanzando una productividad óptima en el contexto de los recursos disponibles.” (Tate, 1994)

Finalmente cabe la evaluación financiera que se basa principalmente en flujos proyectados de dinero efectivo. Un proyecto se considera factible en aquellos casos que la tasa de rendimiento en términos de inversión excede el costo de oportunidad del capital. En estas circunstancias, el valor actual neto de todos los flujos de efectivo futuros será positivo.

Estos problemas quedan recogidos por Rodríguez Alcaide (1996) cuando plantea que la valoración de proyectos y políticas medioambientales adolece de fallos históricos: a) no contemplan la contabilización de valor medioambiental, y b) se discrimina a las futuras generaciones al descontar flujos futuros. Estos problemas pueden ser subsanados incorporando costos y beneficios medioambientales en términos económicos y ajustando la tasa de descuento del futuro consumo al consumo presente.

2.3 La demanda urbana de agua potable distribuida por redes

Una característica económica del "*agua potable*", en cualquiera de sus acepciones es la presencia de una demanda muy variable. Esta variabilidad puede medirse en una doble dimensión: con respecto al año y al día.

Al analizar el consumo anual se observa una marcada estacionalidad, con notorios incrementos en el verano y bajas de consumo en invierno. También hay una variabilidad en el día, con tiempos de mayor y de menor consumo. Durante la noche la demanda de agua es marcadamente baja, comienza a crecer lentamente y se acelera hacia el medio día, hasta decaer con posterioridad. A partir de la media tarde comienza nuevamente a crecer, para producir otro pico de consumo, el más importante del día, hacia los inicios de la noche.

Como activo destinado a satisfacer esa demanda variable, el agua potable presenta una ventaja importante: la posibilidad de su acumulación. Su naturaleza permite acopiar agua lista a despachar en una cisterna de reserva y de ese modo poder responder a los picos de la demanda, incluso hasta en los momento en que puede superar la capacidad productiva. Se trata de un factor que favorece la planificación del sistema.

Los aspectos descritos del consumo de agua nos conducen al estudio de los determinantes de la demanda. Para eso es necesario reconocer los distintos tipos de demanda a atender desde el sistema. Siguiendo a Gibbons (1981) tenemos:

La demanda de naturaleza residencial, proveniente de los domicilios particulares de las familias. Se puede diferenciar:

- Demanda de puertas adentro: destinada a bebida, comida y aseo de las persona. Es donde se manifiesta la naturaleza preferente del bien agua potable.
- Demanda de puertas afuera: abarca el riego de parques y cultivos domiciliarios, lavado de automóviles, utilización en piscinas y otro tipo de esparcimientos. De acuerdo a su naturaleza cabe tomarlo como bien privado.

La demanda de naturaleza comercial o industrial: Su comportamiento puede adecuarse a parámetros de naturaleza económica, lo que la hace más fácil de predecir. Sobre todo en las demandas industriales se trata de un insumo que interviene en casi todos los procesos productivos. Cabe esperar que siga la suerte de las funciones de producción de éstas empresas. A veces la producción responde a factores estacionales que repercutirán sobre el consumo de agua. En el caso de las demandas comerciales, el vínculo no es tan estrecho y cabe encontrar casos que tiendan a comportamientos industriales y otros a comportamientos residenciales.

En el caso concreto de la ciudad de Quemú Quemú la demanda de tipo industrial es casi insignificante. Acreman (1997) indica que es una característica de los países menos desarrollados, donde se manifiesta un predominio del uso de agua en agricultura y bebida en los países más pobres y una participación mayor de la demanda de agua de naturaleza industrial en los países más ricos.

Respecto a la demanda de uso agrícola, en nuestro caso en estudio, prácticamente no existe riego intensivo y las producciones no son abastecidas desde el sistema de gestión centralizada. En consecuencia, no cabe ser tomado en cuenta. De todos modos, puede realizarse algún estudio en el sentido que el origen del agua usada en las producciones agropecuarias puede ser competitivo con el abastecimiento de la fuente desde donde se alimenta el sistema. Si esta situación llegara a confirmarse, cabría incorporar alguna estimación de este problema de asignación entre las funciones del recurso.

La demanda de naturaleza pública, proveniente de edificios donde el Estado realiza sus actividades o la que pueden utilizar los bomberos. Son muy difíciles de estimar "*a priori*". Si el consumo de esta naturaleza fuese muy significativo y lo justificase, se podrá plantear algún estudio estadístico adicional para lograr modelar y predecir su consumo.

Por lo tanto, es en el caso de las demandas residenciales donde podemos detenernos a buscar marco teórico que nos oriente en la búsqueda de factores que expliquen este tipo de consumo de agua, sabiendo que en el caso de la Cooperativa de Quemú Quemú significan el principal destino del agua distribuida. Cabe tomar en cuenta:

- **El clima**: variable de naturaleza fundamental, sobre todo al determinar la demanda puertas afuera de un domicilio, ya que el conjunto lluvias, temperaturas y vientos produce oscilaciones muy importantes en el consumo de agua.

- **La densidad de la población**: los lugares con mayor población por superficie producirán consumos superiores a los de menor densidad. Tiene mayor influencia en la determinación de la demanda puertas adentro de un domicilio.

- **La cantidad de instalaciones sanitarias**: guarda una íntima relación con la cantidad de habitantes por vivienda. Es razonable esperar un consumo mayor cuando la cantidad de artefactos y bocas sanitarias sea mayor. También es una variable con influencia en la demanda puertas adentro.

- **La superficie no cubierta de un domicilio**: guarda una estrecha relación con los usos como bien privado del agua potable. Demás está decir que es variable determinante del consumo puertas afuera.

- Finalmente se tienen las variables de naturaleza económica, tales como **el precio** del bien y **los ingresos** del consumidor. Ambos merecen un párrafo aparte.

El comportamiento de las cantidades demandadas respecto al precio y al ingreso puede evaluarse a través de un cociente denominado elasticidad. “La elasticidad precio de la demanda mide el grado en que la cantidad demandada responde a las variaciones del precio de mercado.” (Mochon y Beker. 1993); es decir, se calcula midiendo el porcentaje de aumento de la cantidad demandada sobre el porcentaje de disminución del precio; o viceversa, el porcentaje de disminución de la cantidad demandada sobre el porcentaje de aumento del precio.

Si el cociente fuese mayor que 1 decimos que estamos ante una demanda elástica, y en caso de ser menor que 1 la demanda será inelástica. Esta medición tendrá directa incidencia en los ingresos del prestatario (el monto del agua facturada está conformada por la multiplicación de las dos variables del cálculo de la elasticidad: el

precio y la cantidad demandada). Ante una demanda elástica es probable que convenga disminuir el precio, pues el aumento de la cantidad demandada compensa dicha rebaja y hace factible obtener una mejora del ingreso. Por el contrario si la demanda fuese rígida, es probable que ante un aumento del precio la caída de la cantidad demandada sea de menor proporción, lo que significará un aumento de lo recaudado.

No hemos hallado trabajos que en Argentina midan la elasticidad precio de la demanda de agua potable, pero todos los elementos contribuyen a pensar que se está frente a un bien altamente inelástico. Guarch (1992) cita datos provenientes de Chile donde obtienen valores que oscilan entre - 0,11 a -0,23, y de Estados Unidos que indican una variación entre - 0,12 a - 0,93, con un promedio cercano a -0,30.

Por lo expuesto, y a falta de mejor información, es posible considerar valores de elasticidad precio de la demanda en un orden del - 0,2 al - 0,25. En términos prácticos significa que se estiman disminuciones o aumentos de demanda de agua del orden del 20 al 25 %, de los porcentajes en que se aumenten o reduzcan los precios.

La elasticidad ingreso de la demanda se mide a través de un cociente entre el cambio porcentual de la cantidad demandada sobre un cambio porcentual en el ingreso. Si el resultado obtenido es positivo se habla de un bien normal. Pueden tener una respuesta elástica a los aumentos del ingreso cuando el resultado es superior a 1 y estaría indicando que se trata de un bien de lujo, que aumenta su demanda en forma más que proporcional al incremento del ingreso. Por el contrario, si fuese menor que 1, el bien es inelástico y de primera necesidad. El enfoque "*a priori*" indica que el agua potable tiene una demanda ingreso también inelástica, situación confirmada por los estudios realizados en Chile que arrojan valores de 0,4 para este cociente (Guarch, 1992).

Un estudio clásico sobre este tema es el de Howe y Lineweaver (1967) que analizaron una zona que cruza el territorio de los Estados Unidos de Norteamérica. Los autores derivaron diferentes precios y elasticidades de precio para el este y el oeste de ese país, para usos de invierno o verano y para tipos de servicios (incluyendo sistemas de cloacas y sin incluirlos). Los resultados que obtuvieron indican que el agua de uso interno es consistentemente inelástica; mientras que el de uso externo, principalmente de riego, es menos rígida y difiere significativamente entre el este (más húmedo, marcadamente elástica) y el oeste (más seco, levemente inelástica). Los estudios posteriores consultados (Grima, 1972, Danielson, 1977 y Gibbons, 1981), confirmaron las conclusiones expuestas, aunque difirieron en los valores.

Foster y Beattle (1979) analizan datos de 218 ciudades, atendiendo a diferencias regionales y de tamaño de las mismas, para estimar la demanda local y lograr ecuaciones representativas para seis regiones de los Estados Unidos. Los resultados indican que la elasticidad precio de la demanda de agua varía de acuerdo con la región, existiendo una mayor demanda elástica en regiones donde el uso exterior tiene mayor significatividad que el interno. También confirman que la elasticidad general promedio del este, más húmedo, es más elevada que la del oeste, más seco.

En forma similar opina Schaible (1997), quien al estudiar la demanda de agua para riego determinó que una política de precios es efectiva cuando el uso del agua no está restringido. Cuando existe restricción en el uso, lograr una baja del consumo requiere de ajustes muy drásticos en el precio. Ello significa que la demanda de agua para riego es más elástica frente al precio cuando no existe restricción. Ante el establecimiento de cuotas de consumo se transforma en inelástica.

El trabajo de Howe y Lineweaver (1967) pretendió demostrar el efecto del precio sobre la cantidad de agua demandada por los consumidores, ya sea para consumo interno o bien para usos externos, especialmente para riego. Para ello realizaron una comparación entre sistemas de la zona oeste y de la zona este de los Estados Unidos, entre sistemas con medición y sin medición del agua consumido y entre sistemas con desagües cloacales y sin ellos.

Los principales aportes son los siguientes: 1) Las demandas de agua para consumo residencial son relativamente inelásticas con respecto al precio, 2) Las demandas de agua para riego son elásticas con respecto al precio, pero menores en la zona oeste (seco) que en la este (húmeda), y 3) Las demandas pico para riego diario (sumamente importantes para el diseño del sistema) son inelásticas en el oeste, pero relativamente elásticas en el este. Señalan que el consumo residencial promedio no difiere entre los dos tipos de zonas; pero el consumo de agua para riego y las demandas pico son muy diferentes entre las dos zonas comparadas.

En la elaboración del trabajo realizaron una separación del consumo residencial puertas adentro del consumo para agua de riego, obtuvieron información detallada sobre el ingreso del servicio y sobre la estructura de precios correspondiente a cada zona estudiada, midieron la demanda en cada día y hora de mayor consumo (pico) correspondiente a cada zona y evaluaron las características económicas y climáticas de cada zona estudiada.

La información obtenida permitió que se formularan las ecuaciones de demanda basadas en la teoría económica y en la ingeniería y, cuando éstas se estimaron estadísticamente por la muestra de la base de datos, ratificaron no sólo el impacto del precio y demás variables importantes sobre los promedios de demanda, sino también sobre su impacto en las demandas pico.

Balestri y Schulz (2005) realizaron un estudio similar al comparar el despacho diario de agua de la cooperativa prestataria del servicio en General Pico para un día de invierno y para un día de verano. Del cotejo surgió un enorme pico de consumo de agua en el día de verano, muy por encima de lo que podría ser el aumento normal del gasto de agua por la mayor temperatura. La conclusión fue simple, es la demanda destinada al riego de jardines o a mitigar la seca o el polvo suspendido en el aire si estamos frente a periodos relativamente secos. Ese consumo de agua no debe ser tratado como bien preferente, sino como bien privado. La dificultad principal estriba en la tecnología necesaria para separar la facturación.

Los precios cumplen la función de determinar los consumos de los recursos escasos en un sistema económico, si se encuentran determinados libremente por la interacción de la oferta y la demanda en mercados que se caracterizan por la competencia entre muchos compradores y vendedores. Si los compradores distribuyen los gastos de manera tal que el ultimo dólar gastado por cada producto que adquieren produce la misma compensación, entonces el precio medirá el valor marginal (en aumento) del servicio para todos los compradores activos.

Si los productores o los proveedores extienden sus ofertas hasta que el costo de la unidad marginal iguala el precio de mercado, entonces el precio medirá el costo de la unidad marginal de producción en términos de producción o compensación. Estas condiciones se mantendrán en mercados competitivos.

En aquellas industrias generalmente denominadas de servicios públicos, incluso las de abastecimiento de agua, no es económico tener un número de empresas que abastezcan a una zona de consumo. En estos casos desaparece la competencia y la regulación la suplanta parcialmente.

Sin embargo, aún pueden obtenerse resultados competitivos si se requiere que el servicio público establezca sus precios en un nivel de producción que iguale a los costos marginales de prestar un servicio a sus clientes.

El consumidor de un producto reacciona ante el precio porque tiene ingresos y bienes limitados. Al comprar más de un producto, debe predecirse algo de utilidad (posibles ahorros); este balance será mayor en tanto el precio del producto sea más alto y de mayor importancia para su bienestar y sus ingresos más bajos.

El cambio de precio de un bien tendrá, sobre la cantidad demandada por el consumidor, un efecto llamado ingreso y otro llamado sustitución. “Las subidas de los precios reducen la renta real y las bajadas las elevan. El efecto renta de la variación de un precio es el ajuste de cantidad demandada ante la variación resultante de la renta real”. “El efecto sustitución de una variación del precio es el ajuste de las cantidades demandadas ante la variación de los precios relativos” (Fischer et al. 1989).

Howe y Lineweaver (1967) extraen de su análisis dos proposiciones importantes:

1. A mayor proporción del presupuesto destinado al gasto de un producto, mayor será el efecto ingreso de un cambio de precio y mayor será el cambio en la demanda de dicho producto.

2. A mayor cantidad de productos que se consideran sustitutos de uno determinado, mayor será el efecto de sustitución sobre un cambio de precio y mayor será el cambio en la demanda de dicho producto.

A la primera proposición se la suele denominar “*la importancia de no ser importante*”. En el caso de la demanda de agua para consumo residencial, su importancia frente al ingreso del consumidor es poca y, sus consecuencias son que el efecto ingreso no es importante y que todo cambio sustancial en la demanda debe sobrellevar el efecto sustitución.

Pero es muy difícil imaginar productos que puedan reemplazar al agua en una casa, especialmente cuando la mayoría de los artefactos que utilizan agua (elementos sanitarios, lavaderos, máquinas de lavar) se encuentran funcionando.

Sin embargo, existen sustitutos para el uso externo del agua: se pueden tomar precauciones para el riego e incluso evitarlo, en zonas donde las precipitaciones son frecuentes, o se puede reducir la zona de riego aumentando las zonas cubiertas por grava o pavimentadas.

En el futuro estarán disponibles muchas otras posibilidades de sustitución. En el hogar se pueden llegar a eliminar los aparatos que utilizan agua o reemplazarlos por módulos que utilicen menos cantidad. Fuera del mismo, la superficie de regadío puede reducirse y los árboles y arbustos se podrán reemplazar por variedades secas resistentes.

Como consecuencia, los cambios en la cantidad demandada que derivan de un cambio de precio serán mayores si el periodo de ajuste (adaptación) es más largo.

2.4 La oferta de agua potable por redes

Previo a analizar el modo racional de conformar la oferta de agua, es conveniente reconocer la misión estratégica de un ente prestador del servicio público de distribución de agua potable y recordar algunos principios rectores de la política a ejecutar por toda empresa, sobre todo cuando desde el Consejo Federal Hídrico (2003) se han definido una serie de definiciones a ser tomadas en cuenta.

La definición a realizar tiene que ir más allá de lo meramente empresario y ser formulada tomando en cuenta la naturaleza particular del bien en cuestión, esencialmente atendiendo a la salud pública, al medio ambiente, a su escasez, su necesidad para la vida y su facilidad para contaminarse.

En este sentido es conveniente distinguir una doble categoría de metas. En primer lugar se establecen los fines que orientan una política general, referida a un enfoque global de la problemática del agua que incluye sus hábitos de consumo, los usos del bien y su conservación en la naturaleza en condiciones de calidad aceptable. En segundo lugar, se definen los objetivos empresariales que debe reunir el servicio prestado.

La primera categoría definida (fines), no suele hallarse en la empresa lucrativa. Sí suele aparecer en las estrategias del Estado, aunque en Argentina no existe demasiada experiencia en planificación y en explicitar de una forma nítida y expresa las finalidades perseguidas. Tampoco a nivel de empresa no lucrativa (cooperativas) es común encontrar estas definiciones, pero en estos casos vale la pena remarcar que estamos frente a un ente que es a la vez empresa económica y asociación social y que tiene fines

a partir de su definición como entidad. Es un caso típico de empresa “misionaria”, es decir, la misión estratégica está sustentada en su definición como persona jurídica.

Las cooperativas, entonces, deben conservar el agua para mantener la cantidad adecuada de materia prima para la prestación del servicio (fin empresario) y para sostener la vida humana cumpliendo el objetivo cooperativo de trasladar el beneficio a los asociados (fin social). Una actitud diferente estaría reñida con esta definición que emana de la propia ley de cooperativas.

Inclusive, deben cumplir con la presentación de un Balance Social como forma de rendición de cuentas de la entidad en estos aspectos, de la misma forma que se rinden cuentas de la gestión económica en el Balance General.

El primer principio rector del agua que dice *“el agua es un recurso renovable, escaso y vulnerable”*, considera el agua como un recurso insustituible para la vida humana y la del resto de los seres vivos, es decir que está en desacuerdo con el planteo de la economía neoclásica según la cual los recursos naturales son mercancías y podrían ser reemplazados por capital, que es el factor limitante último para la producción. Este principio señala además que el agua es imprescindible como insumo en innumerables procesos productivos, por lo cual la reconoce como factor de producción, es decir como un “bien económico” con capacidad para generar un valor monetario. Desde esta visión se ha planteado la necesidad de definir un uso limitado de funciones signado por un marco institucional. Según Aguilera Klink (1999), autor que apoya la nueva cultura del agua, la definición del agua como factor de producción resulta insuficiente ya que sólo tiene en cuenta una de las dimensiones del recurso natural, la dimensión económica. Plantea en cambio, que el agua debe ser considerada como un activo ecosocial, es decir con capacidad de satisfacer un conjunto de funciones económicas, sociales y ambientales.

También rescatamos el principios 3 que establece la *“incorporación de la dimensión ambiental”* y asigna la responsabilidad como *deber irrenunciable* de la preservación del recurso natural por parte de la sociedad y el Estado. Señala la necesidad de intervención por parte del Estado para el cuidado de las fuentes de agua *“…que el Estado ejerza controles sobre la totalidad de las fuentes de agua, dictando y haciendo cumplir la normativa…”.* En consonancia con el anterior el principio 4 declama la *“articulación de la gestión hídrica con la gestión ambiental” y* señala *“…la necesidad de otorgarle al manejo de los recursos hídricos un enfoque integrador y global…”*, es decir

que rechaza la noción de compartimentos estancos propugnada por los enfoques anteriores a la nueva cultura del agua.

De acuerdo al principio 5 deberá realizarse la *"articulación de la gestión hídrica con la gestión territorial"* regulando las actividades que se desarrollan en las cuencas hídricas y considerando las posibles consecuencias de los usos del territorio sobre el recurso hídrico. Desde el punto de vista de la nueva cultura del agua gestionar el recurso agua a través de la gestión de los ecosistemas y por lo tanto del territorio, es un requisito imprescindible para orientar la misma hacia la sustentabilidad.

Por su parte, el principio 6 *"Calidad de las aguas"* especifica la necesidad de establecer marcos de regulación generales en el ámbito del territorio nacional a modo de *presupuestos mínimos* facultando a las provincias a establecer normativas más específicas. Este planteo concuerda con la necesidad de adaptación de la normativa a los cambios que surgen en cada ámbito de gestión en particular. En este sentido, Navarrete y Gallopín (2007) plantean la modificación del planteamiento de estrategias, pasando de la forma unidireccional "de arriba hacia abajo" a un proceso horizontal que permita identificar y consensuar las estrategias entre distintos niveles de gobierno. La incorporación de la calidad como elemento integrante del manejo del agua concuerda con la noción de la nueva cultura del agua que considera la gestión del agua como un sistema abierto y desequilibrado en el cual se asocian calidad y cantidad. El principio plantea que si bien el agua es un recurso renovable naturalmente, es escaso y vulnerable dados los distintos tipos de demanda, la afectación a la calidad del recurso por los distintos usos y los consecuentes conflictos entre actores. En este apartado, reconoce por tanto las variables sociales que intervienen en la definición del conflicto.

Si bien el COHIFE realizó una definición numerosa de principios que por naturaleza exceden el presente trabajo, vale la pena considerar que el principio 8 considera el agua potable y el saneamiento como una derecho humano básico.

En el capítulo sobre el agua y la sociedad, aparece enunciado el principio 12 donde bajo el enunciado *"etica y gobernabilidad del agua"* se plantea la interacción de los organismos de gobierno y los usuarios del agua a fin de *"…democratizar todas las instancias de la gestión hídrica",* objetivo éste que va claramente en concordancia con las premisas de la ciencia posnormal propuesta por Funtowicz y Ravetz (1993). Incorpora además la dimensión ética que no era considerada en la ciencia normal bajo la justificación de la necesidad de objetividad respecto al objeto de estudio. Los principios

13 y 14 *“Uso equitativo del agua”* y *“Responsabilidades indelegables del Estado”* manifiestan la importancia del rol del Estado como principal responsable de asegurar el equilibrio entre los aspectos sociales, económicos y ambientales inherentes al agua. Según Aguilera Klink (2003) los Estados en general han ejercido históricamente un poder autoritario orientado al beneficio de “elites”. En el planteo del papel del Estado en los PRPH 13 y 14 se visualiza un cambio de esta concepción hacia un poder democrático que se oriente a la equidad social.

Cerramos este rápido paso por los principios rectores de una política hídrica haciend referencia al principio 16 *“gestión descentralizada y participativa”* donde se vuelve a plantear la necesidad de la descentralización de funciones, señalandose que esta descentralización debe alcanzar el nivel local más cercano al usuario a fin de lograr la participación de organizaciones comunitarias.

Finalmente el principio 17 *“Gestión integrada del recurso hídrico”* cuenta con una declaración muy importante *“…ello requiere un cambio de paradigma; pasando del tradicional modelo de desarrollo de la oferta hacia la necesaria gestión integrada del recurso…”.* Esto señala que realmente se ha entendido que el antiguo modelo, que gestionaba solamente la oferta y solucionaba los problemas con la aplicación de nueva tecnología y obras de infraestructura (represas, acueductos, etc.), no es el camino adecuado para el manejo del agua. En el principio se señala además la necesidad de que la gestión hídrica esté fuertemente ligada a la gestión territorial, la conservación de suelos y la protección de los ecosistemas naturales. La inclusión de estos conceptos en el manejo y la gestión del recurso concuerdan con el señalamiento de la nueva cultura del agua respecto a la concepción del agua como un elemento que forma parte de un ecosistema, de un territorio y por lo tanto debe entenderse en esta totalidad.

En consonancia con los principios enunciados para la República Argentina, consideramos como dice Aguilera Klink et al (1998) que la gestión del agua subterránea desde el punto de vista de los sostenibilidad no es exclusivamente un problema ambiental, ni económico, ni social, sino cultural. Sólo puede comprenderse y explicarse estudiando el contexto cultural en el que este problema surge y se va configurando. Grove - White (1997) sostiene, en ese mismo sentido, que "las cuestiones y problemas ambientales objetivos que la sociedad reconoce en cualquier momento están configurados y determinados, incluso en su definición, mediante procesos de juicios humanos y negociaciones sociales. En este sentido, tales cuestiones son invenciones humanas, a las que se llega a través de diferentes filtros culturales". Por lo tanto, el

contexto donde enfocar el problema de los principios de una política de agua es multidimensional y va a mostrar un conflicto entre diferentes lógicas o racionalidades como expresión de un conflicto entre diferentes intereses, valores y perspectivas.

Una empresa gestora del servicio de agua potable deberá cumplir con los principios en cuestión, pero también deberá tomar en cuenta otros objetivos de tipo empresarial. Guarch (1992) enmarca a los mismos en lo que denomina las tres C: **Cobertura, Calidad y Costos**. Personalmente, me animo a agregar una cuarta, la **Continuidad** del servicio, y una quinta C, bajo el nombre de **Capitalización**, proceso que debe ser tenido en cuenta por toda empresa prestataria de este tipo de servicios, incluidas las cooperativas: un retorno razonable sobre la inversión.

Cobertura significa que todos los habitantes del lugar donde se presta el servicio puedan contar con el mismo y atender, en los menores plazos posibles, cualquier solicitud de provisión de agua.

Calidad indica buscar la satisfacción total del cliente, siempre, desde la primera vez, a tiempo y al menor costo. En el caso de las cooperativas la razón es doble: los clientes son sus asociados, es decir, su razón de ser. Las empresas de agua, como de servicios similares, pueden hacer referencia a un triple aspecto de la calidad:

- Calidad de producto: el agua ha de ajustarse a unos parámetros definidos como de excelencia, donde entran, entre otros, las condiciones físico-químicas y biológicas que debe reunir.
- Calidad de servicio: ha de haber suficiente presión en la red, no ocurrencia de cortes de suministro, rápida atención en caso de reclamaciones o emergencias y otros similares.
- Calidad comercial: ha de haber correctas mediciones, acertada facturación, trato deferencial, correctas respuestas explicativas, conocimiento anticipado de cada medición y otros semejantes.

Costos significa que los servicios deben prestarse con la mayor eficiencia, es decir, con los mínimos costos de producción. Esta C es fundamental para el caso de una prestadora cooperativa, ya que la eficiencia es medible a través del mínimo costo; solamente esto permite en el asociado el cumplimiento del objetivo en procura del cual se asoció.

Continuidad, en cierta manera, está englobada dentro del concepto de calidad, pero, al tratarse de un servicio esencial para la vida, es conveniente tenerlo por separado, para tomarlo en cuenta de forma permanente.

Por último, **Capitalización** puede traducirse en el objetivo del **retorno adecuado**. Este concepto significa que los ingresos deben superar a los costos, en forma tal que resulte posible el mantenimiento del capital social, su expansión y la conservación y mantenimiento del sistema de la prestación.

Frank (1987), tratadista del cálculo de los costos agropecuarios desde un enfoque económico, define que los costos de producción son iguales a la suma de los gastos que genera la misma, más las amortizaciones de los bienes durables y los intereses sobre el capital invertido. Estos intereses, cargados al costo de producción y calculados a partir de la aplicación de un porcentaje al capital propio, intentan medir el costo de oportunidad de ese capital y obtener un retorno que permita su mantenimiento. A modo de ejemplo: la ley provincial 1.101, que regula la prestación del servicio eléctrico en la provincia de La Pampa, establece la posibilidad de cargar en los costos un 6% en concepto de interés sobre el capital propio, interpretando que ese porcentaje es el margen necesario para mantener el capital. Esto puede ser polémico a nivel de las cooperativas, pero su inclusión en el costo impediría la fijación de conceptos arbitrarios, tal como una tasa de capitalización que cobran las cooperativas sobre el precio del bien, que muchas veces no guarda relación con la inversión real.

Si se acepta un "*costeo*", con criterio económico como el expuesto, que difiere del cálculo contable y jurídico, toda prestación al costo, con el ingreso neto igual a cero, permitirá el crecimiento razonable de este tipo de servicios (todos los días aparecen nuevos requerimientos de expansión de la red) sin recurrir a mecanismos extraños a la formación de costos, tales como la implantación de una tasa de capitalización, que puede resultar escasa o abusiva y repartir la carga de una forma diferente.

Si una empresa trabajara a partir de los cinco objetivos definidos, recogidos por los marcos regulatorios de algunos servicios privatizados en Argentina, se lograría la eliminación de muchas prácticas erróneas que llevaron al Estado y sus empresas a colapsos como los vividos en el país.

Definido los principios y los objetivos de un ente prestatario, cabe analizar el proceso de formación de la oferta de agua. Guarch (1992) distinque una serie de etapas en el mismo:

1. Etapa de captación del agua cruda: La etapa de captación puede interpretarse como la de aprovisionamiento de materia prima. Consiste en obtener el agua de cursos superficiales, de napas subterráneas, de vertientes o de alguna otra fuente. Esta actividad significa la necesidad de contar con elementos productivos tales como instalaciones, equipos de bombeo, tuberías, macromedidores, obras y construcciones civiles, terrenos, tecnología y organización, personal, energía y finalmente el agua en estado natural, ya sea superficial o subterránea. El producto final de esta etapa es el agua cruda captada.

2. Etapa de transporte del agua cruda: La etapa de transporte del agua cruda no siempre está presente en los procesos productivos. Consiste en el transporte del líquido desde el punto de captación hasta el punto de distribución.Es común que exista entre ambos lugares una distancia que, en algunos casos, puede ser considerable y significa la existencia de un acueducto de transporte. En este caso los elementos necesarios son similares a la actividad anterior. El producto final sigue siendo agua cruda, sólo que en este caso ya transportada.

3. Etapa de potabilización del agua cruda: La etapa de potabilización del agua cruda consiste en la transformación del bien agua cruda captada en agua potable. Los elementos productivos necesarios son los anteriormente nombrados, a los que se les agregan los productos químicos para la potabilización. El producto final de esta etapa es el agua potable despachada. Parte del agua que se potabiliza es utilizada en la misma planta. Esto es lo que lleva a distinguir el total de agua potabilizada de la cantidad de agua que se despacha a la red, que normalmente es entre un cinco y un diez por ciento menor. En muchas oportunidades, la potabilización se realiza de inmediato a la captación y se la transporta ya potabilizada.

4. Etapa de transporte del agua potable: La etapa de transporte del agua potable también puede o no existir, dependiendo si la potabilización es realizada fuera de la ciudad a abastecer o dentro de su trazado urbano. La descripción de los insumos sigue siendo la misma, también pueden ser necesarios algunos elementos químicos para mantener la potabilización. El producto de esta etapa es el agua potable transportada,

cuya cantidad volumétrica resulta menor al agua potable despachada por las pérdidas que ocurren.

5. Etapa de distribución del agua potable: La etapa de distribución del agua potable incluye la operación de llevarla a los clientes. Esto significa la existencia de un sistema de cañerías de distribución y conexiones domiciliarias, que contemplen la instalación de un medidor. Además es necesario disponer de un grupo de personas que realice la medición para después facturar y cobrar el servicio prestado. De este modo se cierra la prestación.

El producto de esta última etapa es doble. Se tiene:

Agua potable facturada: Es probable que sea menor al agua potable transportada, por pérdidas en la distribución y por problemas en los sistemas de medición y lectura.

Disponibilidad del servicio: Debe ser considerado "... como un producto a partir de interpretar que aún cuando un usuario no utilice volúmenes físicos mensurables de agua potable, compromete al ente prestador a disponer de recursos humanos y materiales para estar en cualquier momento en capacidad de brindar el volumen de agua deseado en adecuadas condiciones de presión y sanidad." (Guarch, 1992).

Esta disquisición hace necesario un sistema tarifario, que ha de contemplar una adecuada atención de ambos productos. De esta forma será factible atender el servicio (en las condiciones previstas de cobertura, calidad, continuidad, costos y adecuado retorno), y poder responder con los mismos parámetros de eficiencia las demandas insatisfechas existentes y potenciales a través de nuevas conexiones de agua potable.

2.5 La empresa prestadora del servicio público de agua potable

2.5.1 La función de producción y los costos

En todo texto clásico de economía es posible encontrar una descripción de la forma en que se relacionan insumos y productos para la elaboración de cualquier bien en una empresa y del procedimiento por el que el empresario racional toma sus decisiones de cuánto producir. Este modelo, que integra la teoría de la empresa, es de suma utilidad para tomarlo como base teórica del estudio tendiente a optimizar la decisión de producción del sistema de agua de COSYPRO.

En la mayoría de los procesos productivos se utilizan todos los factores y si bien la proporción en que intervienen puede variar de forma apreciable, siempre lo hará dentro de las posibilidades que ofrezca la tecnología disponible, que terminará definiendo la cantidad de producto a obtener frente a una cantidad fija de factores.

Esta relación tecnológica entre factores y producto es la descrita por la función de producción. “La relación entre la cantidad de factores productivos requerida y la cantidad de producto que puede obtenerse se denomina función de producción.” (Mochon y Beker, 1993)

Parte importante de los factores utilizados en un proceso productivo son bienes duraderos; es decir, que permanecen durante varios actos productivos. Las bombas extractoras de agua, los acueductos, las cisternas, los tanques elevados de impulsión, la red de distribución, los edificios, las distintas máquinas aplicadas al proceso productivo, tienen esta naturaleza. Si se quisiera aumentar la producción de forma rápida, algunos de estos factores no podrían incrementarse en el corto plazo; sólo sería posible lograrlo con mayores cantidades de aquellos como el trabajo o la electricidad, cuya compra en montos superiores resulta posible en un breve periodo de tiempo.

La cantidad de agua captada es el principal insumo de la producción de agua potable distribuida por redes y también tiene esa característica de bien no durable, es decir, que se transforma en el hecho productivo. La diferencia en cuanto a las cantidades de electricidad o de trabajo es que estos representan un costo monetario, mientras que el agua captada, si es tomada de la naturaleza no tiene este costo monetario. La situación se modifica cuando el agua es recibida de una empresa proveedora, situación visible en la ciudad de Santa Rosa y no así en Quemú Quemú.

En economía se define el corto plazo como “un periodo de tiempo a lo largo del cual no puede variar alguno de los factores a los que se les denomina factores fijos. La empresa sí puede ajustar los factores variables” (Mochon y Beker, 1993)

A partir de la función de producción es posible determinar dos valores de gran utilidad para el análisis económico: el producto marginal y el producto medio. Para ello se estudia la evolución de la producción relacionada con la variación de un determinado factor (en la distribución de agua potable por COSYPRO es la cantidad de energía eléctrica utilizada), en tanto que se mantienen constantes el resto de los factores productivos.

En el ejemplo propuesto, se define el producto marginal como el aumento del producto total obtenido a partir del aumento de una unidad de insumo (electricidad). En tanto que el producto medio nos estará indicando la productividad del factor, es decir, qué cantidad de agua es producida, en promedio, por cada kw/h de energía utilizada.

En general, al diseñar las relaciones antes narradas se observa que las funciones tienen un comportamiento acorde a la llamada ley de los rendimientos decrecientes. Según dicha norma “el producto marginal de un factor variable de producción disminuye, traspasando un determinado nivel, al incrementarse la cantidad empleada de ese factor.” (Mochon y Beker 1993) Cabe aclarar que aunque la ley tiene una importante regularidad técnica, no goza de validez universal.

Cuando en una primera etapa el producto medio es creciente, el producto marginal será mayor que éste, situación demostrativa de su crecimiento. Pero a partir de cierto punto, el producto medio será decreciente y el producto marginal menor ya que, por cada unidad de insumo agregada, el crecimiento del producto total será en menor proporción. Es fácil concluir, entonces, que el producto marginal corta el producto medio cuando éste está en un máximo.

Hay un segundo punto que determina una tercera etapa de la función de producción. A partir de ese punto, al agregar unidades del factor el producto total decrece y el producto marginal se hace negativo. Huelga decir que, económicamente no conviene agregar insumos hasta llegar a esta zona.

A partir de las distintas funciones de producción y del precio de los insumos se pueden calcular las funciones de costos, que relacionan la producción con los costos para obtenerla. “El costo de producción es la valoración monetaria del uso de factores y servicios productivos, siendo la función de costos determinada por la naturaleza de la función de producción. No se valora un consumo de factores sino el valor monetario de los mismos” (Rodríguez Alcaide *et al*. 1997).

Antes de realizar el cálculo hay que tomar en cuenta el concepto ya definido de corto plazo, en el mismo habrá dos tipos de factores: variables (cuya cantidad puede variarse para producir mayor o menor cantidad de mercancía) y fijos (cuya cantidad no puede alterarse sin un costo elevado). La conclusión es que existirán, en consecuencia, dos clases de costos: los variables, que vienen dados por el valor de los factores variables y dependen del volumen de producción, y los fijos, que se derivan del empleo de los factores fijos y que no dependen del volumen de producción: se incurrirá en ellos aunque no se produzca nada.

Los costos fijos son independientes del nivel de producción, es decir, ocurren aunque ésta sea cero. Los costos variables son dependientes de la cantidad de producto. La suma de ambos conceptos nos dará el costo total que, como su nombre lo indica, será el costo verdadero en que se incurrirá.

Es lógico que los costos variables sigan un comportamiento inducido por la productividad del factor variable. En ello hay que distinguir dos etapas: una primera donde el factor variable crece a menos velocidad que la cantidad del producto obtenido (fase de rendimientos marginales crecientes); y una segunda en que lo hace más que proporcionalmente (fase de rendimientos marginales decrecientes). Esto significa que los costos crecerán inicialmente a un ritmo decreciente conforme aumenta la cantidad producida y después lo hacen a un ritmo creciente.

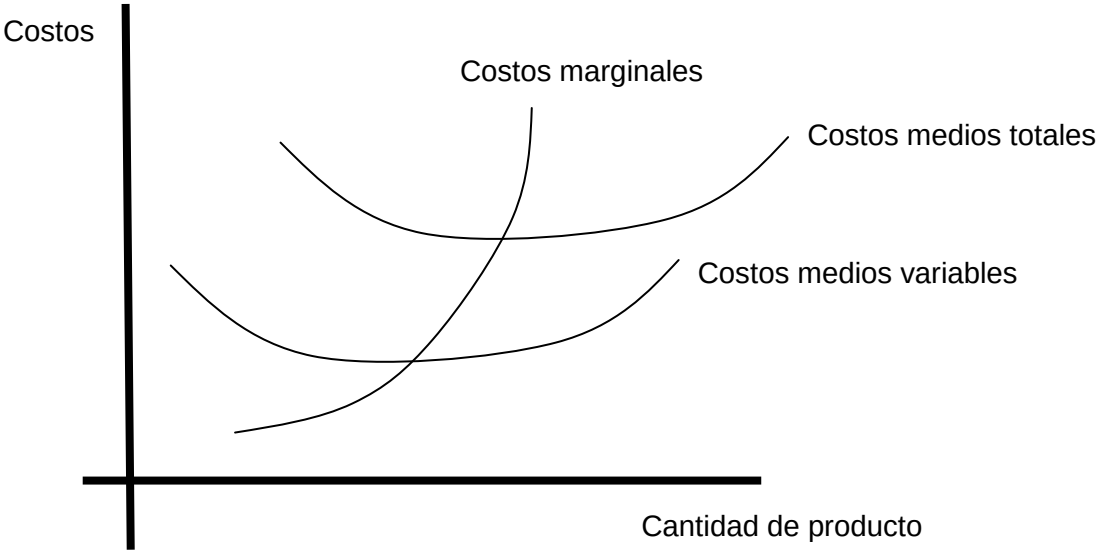
Es importante esta referencia a la relación entre rendimientos y costos. El costo fijo derivado de la estructura de capital que permanece constante no se modificará cualquiera sea la decisión de producir. En el corto plazo, cuando aumenta la producción sólo aumenta el costo variable. La línea de costos fijos es una línea horizontal. La distancia existente entre la curva de costos totales y la de costos fijos para cada nivel de producción representa los costos variables.

El costo marginal es indicativo de cuánto aumenta el costo total cuando la producción se incrementa en una unidad. La forma de esta curva tiene su origen en la curva antes descrita del producto marginal. Para niveles de producción reducidos, el costo marginal disminuye cuando se incrementa la producción, pues cada unidad adicional de insumo incrementa el producto más que la unidad anterior. Es decir, existen rendimientos crecientes. Pero, a partir de determinado nivel de producción, aparecerán los rendimientos decrecientes; por lo cual para aumentar la misma serán necesarias mayores cantidades de insumos. El producto marginal será decreciente y los costos marginales crecientes.

Los costos medios son los costos por unidad de producción. Se pueden calcular para cada nivel de costos y surgen de la división entre éstos y la cantidad de producto. Así es posible obtener costos medios fijos, costos medios variables y costos medios

totales, siendo estos últimos la suma de los dos anteriores. Las curvas de costos medios variables y costos medios totales tienen en esencia la forma característica de “U” alargada, como se muestra en la figura que sigue. La razón de esta figura hay que buscarla en la ley de los rendimientos decrecientes y en particular, en la forma de la curva de producto medio. Por último, la forma de los costos fijos medios muestra cómo éstos disminuyen por unidad a medida que aumenta la producción. Hay que recordar que se obtienen mediante el cociente entre un número constante (los costos fijos) sobre un número que va incrementándose (la cantidad de producción).

Figura 1: Costos medios y marginales



Si los costos marginales guardan cierta relación con el producto marginal y los costos medios variables están relacionados con el producto medio, recordando que el producto marginal corta al producto medio cuando éste está en un máximo, es fácil concluir que los costos marginales cortan los costos medios cuando éstos están en un mínimo. Es el nivel de mayor productividad.

En el largo plazo, el análisis permite alterar todos los factores de la producción libremente. Mientras en el corto plazo una empresa no puede modificar la planta y el equipo, a largo plazo puede construir o arrendar más espacio e instalar la maquinaria que necesita. Significa que a largo plazo todos los factores son variables.

Existen diversas alternativas productivas correspondientes a plantas de distinta capacidad. Las plantas mayores necesitan una mayor cantidad de factores fijos a corto plazo, como el espacio y la máquina. En los niveles de producción bajo, el costo medio de las plantas pequeñas será menor que el correspondiente a plantas grandes debido a que sus costos fijos son menores, pero en niveles de producción mayores, nos encontramos que en las plantas pequeñas aparecen antes los rendimientos decrecientes

y comienzan a aumentar con mayor rapidez, mientras los costos medios de las plantas grandes aún siguen decreciendo. Superponiendo en un gráfico las curvas de costos medio de cada tipo de planta y uniendo los puntos de costo mínimo por unidad de cada una de ellas obtendremos la curva de costo medios totales de largo plazo.

Para obtener niveles de producción mayores será mejor utilizar plantas mayores; para obtener niveles de producción menores será mejor utilizar plantas menores. A largo plazo, las empresas tienen total flexibilidad para elegir la planta mejor para su nivel de producción. Al tener el empresario, por dicha razón, mayor libertad para reducir sus costos, los costos medios de largo plazo nunca pueden ser mayores que sus costos a largo plazo. A cada punto de la curva de costos de largo plazo le corresponde una determinada planta con su propia curva de costos medios de corto plazo.

A cada curva de costo medio a largo plazo también le corresponde una curva de costo marginal a largo plazo. “La curva de costo marginal a largo plazo muestra el aumento del costo provocado por una unidad adicional de producción cuando la empresa tiene libertad para modificar óptimamente todos los factores con el fin de minimizar los costos” (Fischer et al. 1989). No obstante, existe una diferencia importante entre el costo marginal a corto plazo y a largo plazo. Dado que en el corto plazo el tamaño de la planta es fijo, el costo marginal acaba aumentando debido a la ley de rendimientos decrecientes. En cambio, la curva de costos marginal de largo plazo incluye el aumento del costo de oportunidad de la planta adicional elegida óptimamente necesaria para producir una unidad adicional al menor costo posible. Dado que a largo plazo todo es variable, los rendimientos decrecientes son menos importantes, pero el costo de oportunidad del capital invertido para aumentar el tamaño de la planta debe considerarse entre los costos de una unidad adicional de producción.

Las curvas de costo medio y costo marginal de largo plazo guardan la misma relación que las curvas marginales y medias a corto plazo. Es decir, la curva marginal de largo plazo se encuentra por debajo de los costos medios de largo plazo, los costos medios son descendentes, mientras que si se encuentra por encima, los costos medios de largo plazo son ascendentes. La curva de costo marginal de largo plazo corta la de costo medio de largo plazo en el punto mínimo de este.

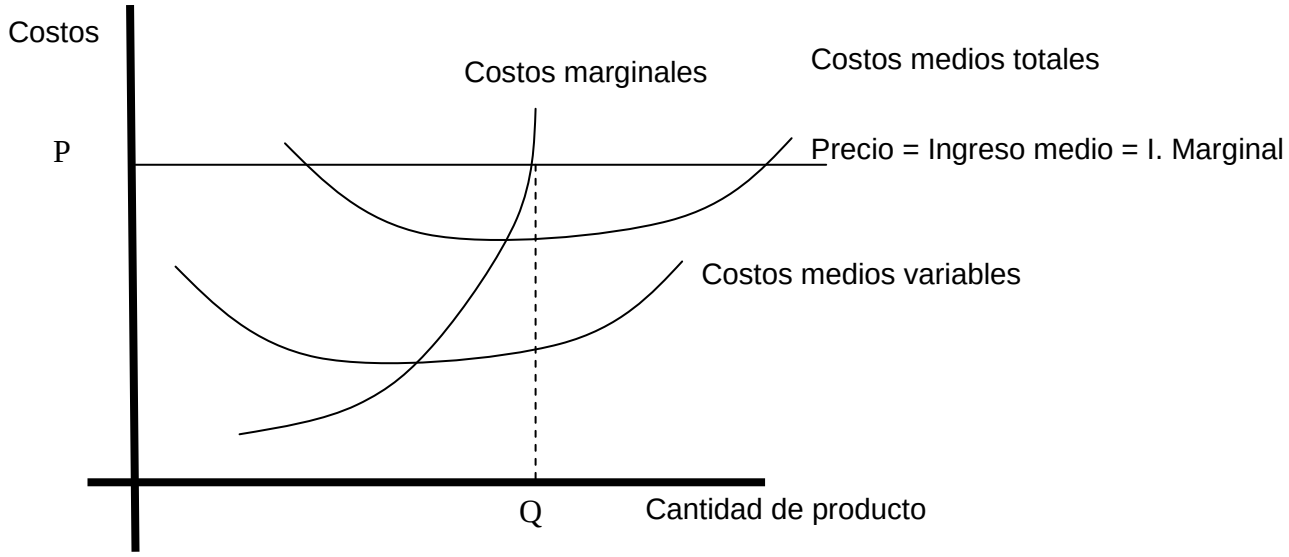
La forma de la curva de costo medio a largo plazo refleja las economías o deseconomías de escala, donde este concepto se refiere al tamaño de la empresa medida por su nivel de producción. “Existen economías de escala (o rendimientos crecientes de escala) cuando el costo medio a largo plazo de la empresa disminuye al aumentar la producción. Existen rendimientos constantes de escala cuando el costo medio a largo plazo no depende del nivel de producción. Existen deseconomías de escala (o rendimientos decrecientes de escala) cuando el costo medio a largo plazo aumenta al incrementarse la producción” (Fischer et al. 1989).

La finalidad principal del desarrollo de estas nociones es ayudar a decidir al empresario cuál es el nivel productivo más conveniente a sus intereses. El primer punto a considerar es el tipo de competencia que la empresa encuentra en el mercado donde vende su producto. Si el mercado fuese de competencia perfecta, la empresa será precio aceptante. La empresas que concurren en competencia imperfecta pueden elevar los precios dentro de ciertos límites sin perder sus cliente o perdiendo muy pocos de ellos. Quiere decir que en competencia perfecta, cualquiera sea la decisión productiva adoptada el precio a obtener será el mismo.

Para saber que cantidad de producto elaborará la empresa. Según sus objetivos de maximización de utilidades y dados los precios de los factores y del producto, el nivel de producción será aquel en que haga máximo el beneficio. El beneficio se obtiene al restar a los ingresos totales los costos totales. El ingreso total es el resultado de multiplicar la cantidad producida y vendida por el precio de venta. El aumento de la producción en una unidad sólo incrementará los beneficios si el ingreso adicional derivado de la venta de una unidad es mayor que el costo de producir esa unidad. Mientras la relación entre las dos variables sea así, a la empresa le conviene aumentar la producción, hasta que el costo marginal iguale al ingreso marginal, situación en que estará haciendo máximo el beneficio.

En el caso de la empresa perfectamente competitiva, el ingreso adicional derivado de la venta de una unidad más siempre será igual al precio. El ingreso medio surge de dividir el ingreso total por la cantidad vendida y si el precio permanece constante, el ingreso medio también es igual al precio. En esta situación particular de concurrencia al mercado el ingreso medio de la empresa es igual al ingreso marginal e igual al precio. Situación que no se cumplirá si la competencia fuese imperfecta.

Figura 2. Equilibrio de la empresa competitiva



En general, una empresa estará en equilibrio, alcanzando un óptimo productivo en el nivel donde el ingreso marginal es igual al costo marginal (punto Q que la figura 2). Una empresa en estas condiciones maximizará sus beneficios en el punto de producción, donde no resulta posible obtener ningún beneficio adicional aumentándola. Si el precio es mayor que el costo marginal (costo de producir una unidad adicional) es clara la conveniencia de producirla. Si por el contrario, el precio es menor que el costo marginal, la decisión será no producirla y disminuir la producción hasta que se equilibren. Surge así con claridad que el nivel óptimo de producción, aquel donde se maximiza el beneficio, será donde el ingreso adicional (ingreso marginal igual al precio) sea igual al costo marginal.

2.5.2 Naturaleza económica del monopolio natural

El monopolio es un caso extremo de la competencia imperfecta. El monopolista es el único vendedor de un determinado bien o servicio, en un mercado al que no es posible la entrada de otros competidores.

A partir de este concepto, se puede diferenciar entre el empresario monopolista y el competitivo, ya que éste es precio aceptante. Ello significa que toma el precio como dato y debe adaptar su comportamiento a la situación que le brinda el mercado. En cambio, el empresario monopolista tiene un papel predominante en la fijación del precio, que dependerá de su decisión de cuanto producir.

Esta fortaleza radica en que la curva de demanda a la que se enfrenta el empresario monopolista no es la particular de su empresa, sino que es la curva total de demanda del mercado. Esta curva de demanda recoge los deseos de compra de todos los consumidores a los distintos niveles de precio. El monopolista sabe que colocando una determinada cantidad logrará un precio y, si la aumenta, bajará el precio. Conoce también que una menor cantidad significará un aumento de los precios.

La forma de actuación del monopolista, entonces, marca otra diferencia notoria con la competencia perfecta donde, cualquiera sea la decisión productiva del empresario, el precio permanecerá constante, razón por la cual se puede afirmar que la demanda individual a la que se enfrenta cada empresa es una recta paralela a la abscisa ubicada a nivel del precio de mercado.

Mochon y Beker (1993) refieren cuatro causas para la existencia de una empresa monopólica:

1. El control exclusivo por parte de una empresa de un factor productivo o de las principales fuentes de abastecimiento de las materias primas.
2. La explotación de ciertas técnicas que previamente han sido patentadas.
3. La imposición legal de una exclusividad (monopolio legal). Históricamente se dio en muchos lugares del mundo y, en la República Argentina sirve de ejemplo el antiguo servicio de correos.
4. Las características técnicas de algunas industrias que económicamente impiden la entrada de más de una empresa (monopolios naturales). Esta es la de mayor interés para nuestro enfoque.

El monopolio natural se presenta cuando, por el tamaño del mercado y la estructura de costos de una industria, el bien se produce en el tramo descendente de la curva de costos medios. La disminución de los costos durante todo el rango de producción requerido por el mercado, se debe a la existencia de costos fijos muy significativos, que disminuye al aumentar la producción. Esto lleva a que el tramo de costos medios decrecientes sea muy acentuado y tengan efecto durante un segmento prolongado de los niveles productivos. En síntesis, cualquier aumento de la producción producirá una baja de los costos medios totales.

Este es el caso de la mayoría de los servicios de distribución de agua potable de naturaleza local y también de los de electricidad, colección cloacal y gas natural. En todos los casos los costos fijos de instalación de líneas o de caños son muy altos frente a los costos variables. La existencia de dos o tres compañías prestando este tipo de servicios sería un despilfarro enorme de recursos.

En la base del monopolio natural existen razones tecnológicas concretadas en estructura de costos que permiten la existencia de economías de escala, es decir, la existencia de costos medios decrecientes para niveles elevados de producción.

Los ingresos de toda empresa surgen del producto entre la cantidad vendida y el precio, pero en el caso de los monopolios la cantidad es la totalidad producida en el mercado. En general, es esperable que en los primeros niveles de venta los aumentos de la cantidad sean superiores a las caídas de precios, con lo cual el ingreso total aumenta. A partir de un determinado nivel de producción la situación debe invertirse y un incremento en la cantidad dará lugar a bajas de precios que no compensarán la mayor producción, con lo cual es esperable una disminución del ingreso total. En el punto de inflexión entre una y otra situación, el ingreso total debe estar en un máximo.

El ingreso medio surge de dividir el ingreso total por la cantidad (IMe = IT / Q). Si reemplazamos ingreso total por su equivalente Q * P y simplificamos obtendremos que el Ingreso medio es igual al Precio (IMe = Q * P / Q = P). Luego, la curva del ingreso medio del monopolista se corresponde con la curva de demanda de éste.

En competencia imperfecta, la curva de demanda (como se vio, equivalente al ingreso medio del monopolio y el precio) es negativa, de forma que el ingreso marginal será menor al precio. Ello es así, porque sólo es posible aumentar las ventas reduciendo el precio y esta reducción alcanza a las unidades anteriores, que serían vendidas a mayor precio si la producción fuese menor.

"El ingreso marginal es el aumento del ingreso total derivado de la venta de una unidad más de producto y, por lo tanto, es igual al precio al que se vende la unidad adicional del producto menos la pérdida del ingreso, debido a que ahora la producción inicial se vende a un precio más bajo." (Mochon y Beker, 1993)

La curva de ingreso marginal está situada debajo de la curva de ingreso medio, pues a partir de la ordenada en el origen, para cada nivel de producción el ingreso marginal es menor que el precio. La curva del ingreso marginal corta la abscisa (es decir, es igual a cero) en el punto donde el ingreso total es máximo.

2.5.3 El equilibrio del monopolista

Un monopolista tiene cierto poder sobre el mercado y puede imponer el precio o la cantidad a vender; pero no podrá hacer ambas cosas a la vez, pues en el mercado hay grupos de consumidores representados por la función de demanda que tienen soberanía en sus decisiones de consumo.

La teoría económica plantea que cualquier empresa está en equilibrio cuando produce aquella cantidad que maximiza sus beneficios. El mismo criterio tiene validez para el monopolio: una vez que decide su nivel de producción son los consumidores quienes determinan el precio según su demanda.

Dada la estructura de costos y la demanda del mercado, el monopolio debe decidir si produce la cantidad óptima que maximice su beneficio o minimice su pérdida o, si cierra y no produce nada.

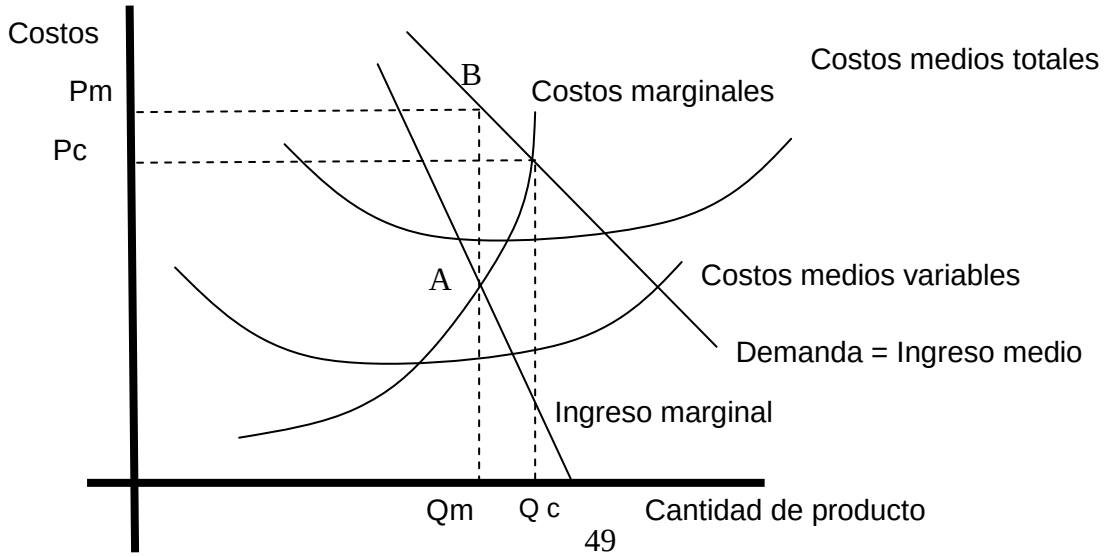
Si decide agregar una unidad a su nivel de producción y el ingreso marginal aumenta más que los costos marginales, su decisión será favorable, en caso contrario no incorporará esa unidad adicional. Esto nos devuelve al clásico criterio de que el equilibrio estará donde el ingreso marginal sea igual al costo marginal. En ese nivel productivo, el ingreso total será definido en su intersección con la demanda y los costos totales en su corte con los costos medios totales. La diferencia entre ambas superficies determinará su beneficio. El precio, queda determinado por la demanda de los consumidores y su disposición a pagar.

También es conocido que existe una relación entre la elasticidad de la demanda y el ingreso total (IT). Si la demanda es elástica (E>1), toda reducción de precio aumentará el ingreso total. Si la demanda es inelástica (E<1), toda reducción de precio disminuirá el ingreso total. Si, según se dijo, el ingreso marginal (I Mg) es la variación que experimenta el ingreso total cuando aumenta la producción, se tendrán las siguientes relaciones:

- Si E > 1; el I Mg > 0; I T está creciendo.
- Si E < 1; el I Mg < 0; I T está decreciendo.
- Si E = 1; I Mg = 0; I T está en un máximo.

Hemos planteado que el monopolista está en equilibrio cuando el ingreso marginal es igual al costo marginal y, dado que los costos marginales son siempre positivos, la igualdad se dará en el tramo del ingreso marginal en que éste es positivo. Esto significa que "el monopolista maximizador del beneficio siempre selecciona el nivel de producción en el tramo de la curva de demanda en que ésta es elástica, es decir, cuando el ingreso total crece. Por ello, el monopolista analizará con sumo cuidado los factores que influyen en la elasticidad de la curva de demanda." (Mochon y Beker, 1993)

Figura 3. Equilibrio del monopolista y comparación con la competencia



En la figura se aprecia que en el punto **A** se produce la igualdad entre costo marginal e ingreso marginal. Ello supone que la cantidad a producir será **Qm** que se transforma en la oferta del monopolio. Si proyectamos esa oferta sobre la curva de demanda, encontramos el punto **B** donde se igualan. Su proyección sobre las abscisas nos determina el precio, en este caso, **Pm**.

En la figura se mantienen los niveles productivos si se hubiese actuado en competencia perfecta. En este caso el ingreso marginal era igual al ingreso medio y por lo tanto a su curva de demanda. En ese equilibrio la empresa competitiva produciría **Qc** y su precio sería **Pc**. Nótese la consecuencia por la cual no es deseable un monopolio, ya que racionalmente ofrecerá una cantidad menor de producto para obtener un precio mayor.

Hasta aquí la teoría del comportamiento del monopolista en general. Pero, ¿cuál es la situación del monopolio natural? Recordamos que en esta situación el equilibrio se produce cuando los costos medios están decreciendo y es probable que en muchos casos el monopolio sólo minimice las pérdidas. Para que ello no ocurra es necesario que la demanda sea superior a los costos medios totales.

A largo plazo el monopolista sólo producirá cuando el precio sea superior al costo medio total. El equilibrio de corto plazo será también a largo plazo, pues no habrá entrada de empresas, aún cuando haya beneficios extraordinarios. Los beneficios extraordinarios son llamados beneficios monopolísticos, pues reflejan la capacidad de aumentar el precio sin atraer la competencia, por eso el monopolista persiste en el largo plazo.

La amplitud del mercado que un monopolista debe atender a largo plazo es la que determina el tamaño de la planta, sin preocuparle si ésta le permite alcanzar los menores costos posibles a largo plazo.

No obstante, aunque “el monopolio sea una forma ineficiente de producción desde el punto de vista social, por razones tecnológicas o de tamaño de mercado puede ser la única estructura compatible con la provisión efectiva de ciertos bienes o servicios.” (Chisari y Celani, 1996)

Actualmente se reconoce que el monopolio natural también puede surgir de una condición más débil que los rendimientos crecientes a escala, llamada “*subaditividad de costos*”. Esta situación se daría cuando los costos totales resultan más bajos en una sola

planta que en dos. Se presenta con rendimientos decrecientes y con costos medios crecientes, sin que ello signifique que siempre sea así.

"Cuando prevalecen costos medios decrecientes, siempre se dice que el monopolio natural es fuerte (o en sentido estricto o restringido), en tanto que cuando las condiciones tecnológicas son de subaditividad de costos sin economías de escala tenemos un monopolio natural débil (o en sentido amplio)." (Chisari y Celani, 1996)

Es decir que la condición de subaditividad de costos es menos estricta que la de economía de escala, por cuanto los costos unitarios pueden estar creciendo a medida que aumenta la producción total y, aún resulta más barato llevarla a cabo a través de una sola firma en vez de hacerlo a través de dos o más. La subaditividad está originada en la existencia de una cierta proporción de costos fijos, que deben afrontarse independientemente del flujo de producción individual de cada firma. La definición de subaditividad está íntimamente ligada a la recurrencia o repetición de costos fijos por empresa.

Para el caso de industrias que operan sobre redes, como la del agua, la importancia de la subaditividad es crucial ya que:

1. Hay un pequeño número de opciones de expansión de la red, los cambios son de grandes magnitudes y sólo existen un muy limitado número de variantes tecnológicas (casi ninguna), con lo cual el sector no puede operar de otro modo que no sea en dicha red y por lo tanto la influencia de las economías de escala es determinante.
2. A medida que se expanden las cañerías en capacidad, sus costos unitarios son decrecientes.
3. Finalmente, los impactos sobre los costos totales de operación de las redes construidas son tales que cualquier decisión de multiplicar las empresas en el mercado implicará muchos más costos que mantener una sola empresa.

Cuando un monopolista cobra precios diferentes a diversos clientes se dice que hay discriminación de precios. Para que esto pueda darse son necesarias las siguientes condiciones:

- Que el mercado pueda fraccionarse y que el monopolio sea capaz de identificar a cada una de esas fracciones o segmentos del mercado.
- Que no exista reventa. Es decir, que los consumidores no especulen con las unidades del bien obtenido a distintos precios.

La razón económica de la discriminación estriba en que los diferentes consumidores están dispuestos a pagar distintas cantidades de dinero por un mismo

bien, de forma que resulta interesante para el monopolista aprovecharse de ello. Conocidas las diferentes disposiciones a pagar, el vendedor dividirá el mercado en varios submercados con sus respectivas funciones de demanda para cada una de ellos. “Un monopolista practica la discriminación de precios cuando cobra precios distintos a cada tipo de comprador en función de las diferencias entre sus elasticidades de demanda.” (Mochon y Beker, 1993). También cabe la discriminación en el precio en función del número de unidades consumidas por un mismo comprador. Esto ocurre con la electricidad y el agua, por las que se cobran distintos precios según los niveles de consumo.

La discriminación será perfecta cuando el monopolista cobra a cada consumidor, por cada unidad que adquiere, un precio igual a su disposición de pagar por la correspondiente unidad del bien. El monopolista se apropia, de esta manera, de la totalidad del excedente del consumidor; en este caso, los beneficios serán más elevados por el mayor nivel de producción como por la apropiación del mismo.

Finalmente para cerrar este enfoque de la operación de un monopolio, se considera el tema de la innovación, que tiene que ver con el análisis a largo plazo. Mochon y Beker (1993) sostienen que Schumpeter demostró que el poder monopolista es mucho más estimulante que la competencia para crear un clima adecuado para que se introduzcan innovaciones. Estas innovaciones pueden alterar la operación del monopolio e incluso, en determinados casos como por ejemplo la telefonía, alterar las condiciones del monopolio natural.

2.5.4. La regulación de un monopolio de servicios públicos

Es normal que los gobiernos apliquen políticas para intentar proteger a los consumidores y favorecer la competencia. Estas regulaciones pueden procurar evitar la formación del monopolio o, si éste ya existiera, dividir la industria monopolística en dos o más empresas.

Cuando el monopolio es natural puede que no exista otra alternativa que su aceptación e inclusive, si se tratara de una empresa única prestataria de un servicio esencial (por ejemplo agua o colección cloacal), hasta puede resultar de interés del gobierno el sostenimiento del monopolio y subsidiar su mantenimiento.

En el caso de estos monopolios naturales que prestan servicios públicos (agua, electricidad, cloacas, gas natural por redes) es una rutina la regulación de la operación del monopolista, que puede adoptar distintas formas:

1. Permitir que el monopolio forme el precio y obtenga beneficios extraordinarios. El gobierno ha de establecer un impuesto para reducir estos beneficios extraordinarios y

devolver, por transferencia o bienes públicos, el exceso de precio. El problema de esta forma es que se duda de la eficacia del gobierno para aplicar este tipo de medidas; existiendo en la historia muchos casos de su fracaso.

2. Obligar al monopolio a fijar precios que eliminen los beneficios extraordinarios. Esta política, que puede ser denominada de fijación de los precios según la regla del costo medio, consiste en establecer el precio más bajo sin forzar al monopolio a salir del mercado. Significaría fijar el precio donde la demanda corta los costos medios. El problema de esta forma de regulación es que la empresa monopólica no tendrá incentivos para disminuir los costos de producción, y trasladará en consecuencia los mayores costos al consumidor vía tarifas. Si se recurriera a fijar el precio que garantice una determinada rentabilidad porcentual sobre la inversión, la estrategia puede ser el aumento del stock de capital.

3. Fijar el precio al costo marginal. Esta alternativa es la que produce un mayor aumento de la producción ya que, al establecer un precio igual al mismo, la producción será la equivalente a la de competencia perfecta. El problema en este caso está en que, al operar en zonas de costos marginales decrecientes e inferiores a los costos medios, la empresa monopolista puede incurrir en pérdidas. Si ello ocurriera, puede aparecer como alternativa el subsidio, para garantizar un beneficio normal a la empresa.

"En la regulación de industrias que operan bajo condiciones de monopolio natural, existen por lo menos tres elementos fundamentales: a) consideraciones respecto a la pérdida de eficiencia por recursos mal asignados como consecuencia del monopolio; b) si la estructura monopólica de mercado obedece o no al caso en donde existen economías de escala (como caso particular de subaditividad de costos); c) si existen barreras a la entrada, ya sea económicas o legales, y en qué caso es necesario imponerlas."(Chisari y Celani, 1996)

Un método de evaluación de la mala asignación de recursos a la que puede dar lugar el monopolio, suele ser la existencia de altos beneficios económicos por encima de los normales; situación que motiva el ingreso (al menos potencial) de nuevas empresas. Si el mercado tiene estructura de monopolio natural, la sociedad evalúa como mejor opción su existencia. Pero si el monopolista explota al máximo su condición, la regulación a través de medidas correctivas aparece como inevitable.

No obstante, la existencia de altos beneficios no es condición ni necesaria ni suficiente para la imposición de regulaciones, ya que se requiere la concurrencia de otros elementos que hacen a la estructura del mercado. El tamaño del mercado dado por la curva de demanda es un primer dato a tomar en cuenta. Si el mercado es pequeño, la existencia de una única empresa que provea el servicio y actúe como monopolista

maximizador no necesariamente justifica la intervención, ya que los costos de mantener una agencia regulatoria pueden superar los ahorros por la mejora en la asignación.

Cuando el tamaño del mercado determina que no es económicamente viable la concurrencia de dos o más empresas se dice que está actuando una barrera de entrada de naturaleza económica. La única solución que se presenta para estos casos es la aparición de una nueva empresa propietaria de un método de producción más barato y, que posiblemente, requiera de una escala más reducida para ser viable (situación no visualizada en el caso del agua)

Un enfoque muy relacionado, pero con una respuesta distinta, es el de los mercados disputables. Si se considera la inexistencia de costos hundidos (la empresa entrante puede recuperar la totalidad de los activos aplicados a esta actividad y hacerlo rápidamente) y de barreras de entrada, en el largo plazo el monopolista deberá fijar el precio a nivel del costo medio mínimo. De no hacerlo, cualquier empresa podrá ingresar al mercado y quedarse con él, con sólo bajar el precio al nivel mínimo posible (costos medios). En esta situación particular, la amenaza de potenciales empresas entrantes impide el ingreso de beneficios económicos extraordinarios sin necesidad de regulación alguna.

Este enfoque merece algunos comentarios adicionales. El equilibrio del monopolista en un mercado disputable es aquel que no incentiva el ingreso de competidores ni le permite captar cuasi rentas adicionales, todo esto sin barreras legales ni regulación alguna. En este caso, el monopolista tiene un precio sostenible. Esta situación teórica es posible en presencia de economías de escala o de rendimientos constantes a escala, pero no en el caso de deseconomías de escala.

Pero cambiará frente a un monopolio natural débil, es decir, donde existe subaditividad de costos pero no economías de escala. En estas condiciones no existe una barrera económica que impida la entrada de otra empresa y compartir el mercado con la operadora. Es decir que no hay precio sostenible, ni aún fijándolo al costo medio mínimo. Cualquier empresa puede ofrecer este precio y compartir el mercado, aunque socialmente su decisión se ineficiente. Aquí sobreviene la necesidad de regular el ingreso.

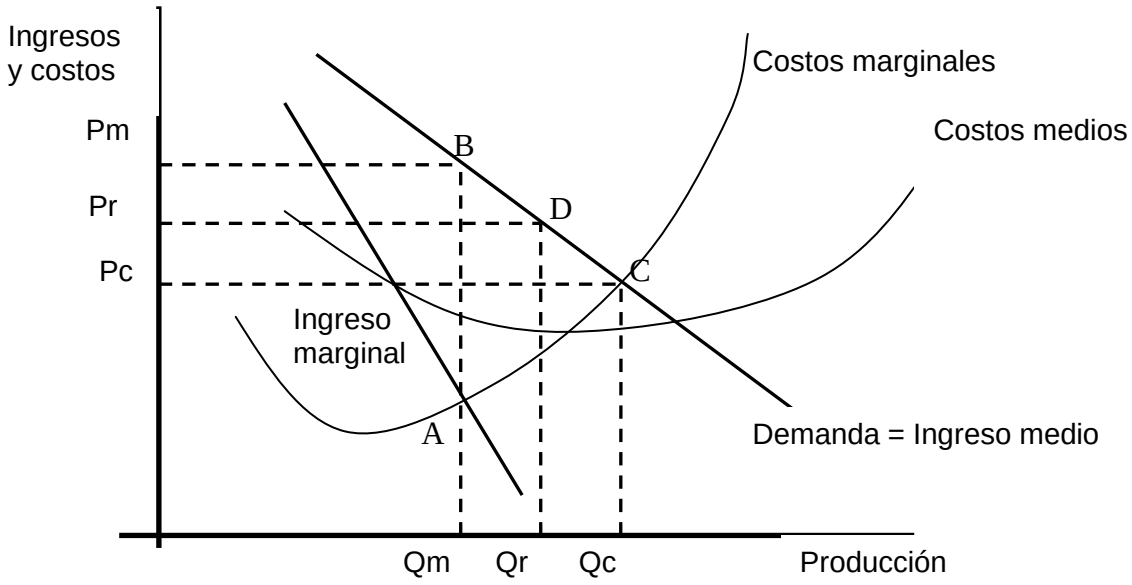
En circunstancias de monopolio natural, se requiere de una regulación específica, una barrera legal que impida la entrada de nuevos competidores de manera que asegure la estructura de mercado más eficiente. En este caso, el regulador “protege” al monopolista y, a través de esta medida, persigue obtener un equilibrio más cercano al óptimo paretiano.

Queda por aclarar el concepto de costo hundido. Es aquel que no puede ser recuperado cuando la empresa decide salir del mercado. Si de la venta de los activos se recupera la totalidad de la inversión no existen costos hundidos. Sí los habrá en el caso contrario, que resulta el más común. Los costos hundidos son verdaderas barreras de salida que una empresa deberá tomar en cuenta ante cualquier decisión.

2.5.5 Bases económicas de la tarifación de servicios públicos monopólicos

En el servicio de agua potable, prestado en condiciones de monopolio natural, el precio puede ser fijado por una regulación que tienda a evitar que el monopolista aproveche su situación como tal.

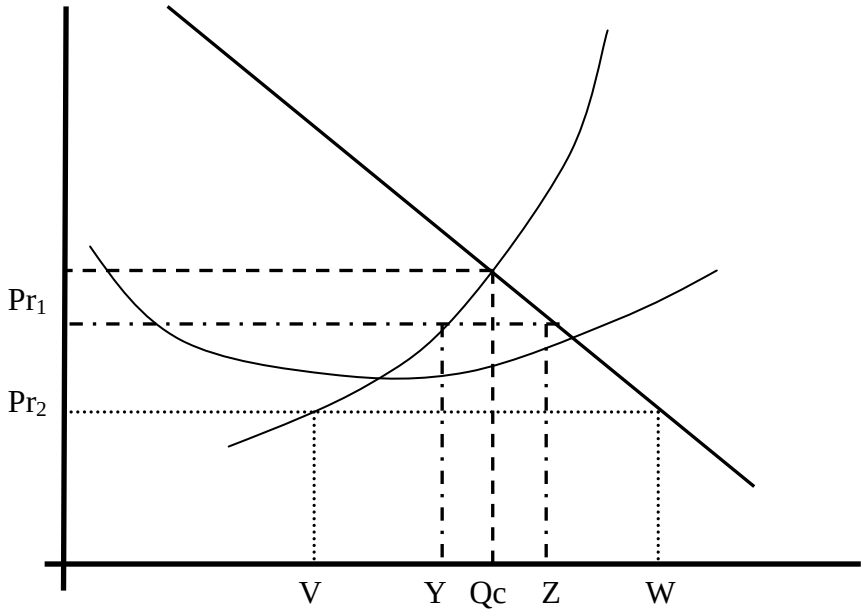
Es posible distinguir **Pm**, que representa el precio fijado libremente por el monopolista, **Pc** que es el precio teórico que se formaría si las condiciones fuesen de competencia y, finalmente **Pr** que es el precio fijado por la regulación.



¿Cuál será el valor de **Pr**?. Indudablemente oscilará entre los dos primeros definidos, porque será menor que el precio monopólico y tenderá a acercarse al precio teórico de las condiciones de competencia. El regulador tenderá a buscar este último precio y, cuanto más cerca esté el precio regulado al precio teórico de competencia, menor será el excedente del consumidor apropiado por el monopolista. El excedente del consumidor es la superficie superior a la línea de precio formada por **Pc** y **C**. Pero si el precio fuese **Pm**, el excedente se habría reducido en el trapecio formado por **Pm**, **Pc**, **C** y **B**. Ese excedente se lo apropia el monopolista. Para el precio **Qr**, los consumidores recuperan parte de su excedente.

Si el precio regulado se fijase por debajo del precio teórico de competencia se presentan dos peligros:

- El racionamiento de los consumidores.
- La desaparición de las empresas interesadas en operar el negocio.



Si el precio está fijado en **Pr_1** la firma estará dispuesta a vender la cantidad de unidades de servicio hasta donde el precio se iguale con el costo marginal (**Y**) y los consumidores, hasta donde el precio se iguale con el ingreso medio (**Z**). La diferencia (**YZ)** en cuestión significa un racionamiento de los consumidores.

Si en cambio el precio es fijado en **Pr_2** (por debajo del mínimo del costo medio), la empresa en el largo plazo preferirá no producir y el racionamiento será mucho mayor (**VW**). La condición necesaria de continuidad de la empresa requiere que el precio regulado sea mayor o igual al costo medio a largo plazo.

En el caso de un monopolio natural fuerte, si la tarifa es lineal el precio regulado no puede ser menor al costo medio. Cuando se baja el precio a partir del monopólico, mejora la situación de los consumidores pues aumenta su excedente. Por el contrario disminuye el excedente de los productores, pero en general el excedente total está creciendo. El límite de esta rebaja está en el punto en que el precio iguala al costo medio y no puede bajarse más sin violar el incentivo de las empresas a participar en el mercado.

La adopción de este criterio y la fijación del precio en **Pr** es una solución de segundo mejor, porque respeta una condición adicional que impide llegar al primer mejor, que sería fijar el precio en **Pc**, que resulta inalcanzable a largo plazo

En realidad, este proceso de manejar una tarifa lineal es restrictivo. Podría alcanzarse una mejor solución si se admiten mecanismos tarifarios más complejos, por ejemplo en dos partes que combinen cargos fijos y cargos variables.

Supongamos que los costos fijos de la empresa que opera el mercado son F, y que hay un único consumidor. Si éste paga F por conexión, la empresa tiene resuelto el problema de su viabilidad a largo plazo y para el consumidor no hay razón para modificar la cantidad (número de unidades) que está dispuesto a comprar, sobre todo si el gasto variable es muy pequeño frente al total.

De existir una cantidad importante de consumidores, los costos fijos se reparten entre ellos en forma equitativa; obteniéndose un cargo fijo de F/n, donde "n" es el número de usuarios. El resto de la tarifa se compone de un cargo variable en función del consumo de cada uno y debería ser igual al costo marginal de producción.

De esta forma se resuelve el problema de los costos medios y el precio puede llevarse al costo marginal. Casi puede decirse que la tarifación en dos partes resuelve el problema creando dos mercados: uno para el servicio de conexión y otro para la provisión de cantidades. Al menos en la teoría.

¿Qué ocurre si se intenta introducir ponderaciones distributivas en la regulación de tarifas? La primera de estas finalidades ocurre con la alternativa, ya vista, de fijar un precio regulatorio, que disminuya el excedente del productor para aumentar el excedente del consumidor. Si suponemos que el intento es quitar $1 del primero para agregar al segundo, se tiene:

$$(EC + 1) + (EP - 1) = EC + EP \qquad (1)$$

Donde "EC" es excedente del consumidor y "EP" el excedente del productor.

Cuando se plantea la tarifa binómica que separa la cobertura de los costos totales y permite fijar el precio más eficiente para el consumo de agua, puede aparecer alguna dificultad de tipo distributivo.

El bienestar total puede expresarse como EC + EP (la suma de los excedentes del consumidor y del productor). Si se separa el financiamiento de los costos representado con la letra "F", se tiene:

$$EC + EP = (EC – F) + (EP + F) = ECN + EPN \qquad (2)$$

Donde "ECN" y "EPN" son los excedentes “netos”.

Lograda la financiación de los costos fijos, el regulador puede fijar el precio en el punto en el que éste se iguala al costo marginal y así respetar la condición de eficiencia requerida.

La tarifación en dos partes puede resultar potencialmente costosa si se acepta más de una clase de consumidor. En efecto, ante un valor elevado de "F" (aún repartido en "n" consumidores como F/n), puede afectar la participación del consumidor pobre en el mercado, si F/n representa una porción sustancial de su ingreso. Si el supuesto fuese que los consumidores fuesen dos, uno rico y otro pobre, la ecuación del bienestar social será:

$$(ECR - F/2) + (ECP - F/2) + EPN \qquad (3)$$

Donde "ECR" es el excedente del consumidor rico y "ECP" es el excedente del consumidor pobre. F/2 es el cargo fijo dividido por cada uno de los dos consumidores. El excedente del consumidor pobre puede resultar negativo.

Aquí aparece nuevamente la alternativa de separar precio y costo marginal, en función de una cuestión de carácter distributivo. Los consumidores llamados pobres no pagan cargo fijo o lo hacen en menor cuantía y, como debe cumplirse con la restricción del financiamiento de la empresa, el precio debe ser recalculado a un nivel más alto que el costo marginal y más cercano al costo medio con una pérdida en la eficiencia asignativa.

Se plantea a partir de esta instancia todo un verdadero menú con diversas combinaciones entre cargos fijos y cargos variables. Este tipo de tarifa se llama "*no lineal*", porque el costo de bolsillo por unidad de servicio decrece a medida que el comprador incrementa su consumo. Hay que dejar en claro que el cargo fijo (en principio surge de dividir los costos fijos en los "n" consumidores que van a pagar en partes iguales e independiente de sus consumos individuales) se asemeja a un impuesto.

Este suele ser el esquema empleado en las facturas de gran parte de los servicios públicos (electricidad, agua, teléfonos). En el caso de la electricidad existen argumentos contundentes a favor de su cobro, ya que el servicio consta de dos productos en sí: potencia y energía. El cargo fijo financia el primero y el cargo variable el segundo. También resulta claro, a mi entender, en el caso del agua; donde habría dos productos finales: la disponibilidad del servicio y el agua consumida.

Lo expuesto relaciona este criterio de la tarifa no lineal con las posibilidades de discriminar los consumidores en un afán de maximizar su ingreso.

2.6 Sistemas de tarifación

El análisis microeconómico sobre precios, ingresos y cantidades demandadas tiene mucho que ver con los sistemas de tarifación del servicio. En Argentina existen prácticamente dos:

1.-Sistema de renta fija: La factura por servicio de agua potable se vincula a parámetros que no tienen que ver con el consumo efectivo (hábitos de uso, clima, características de inmuebles, calidad de instalaciones). La demanda es, en el plano teórico, absolutamente independiente de la tarifa. “Podemos agregar que en el plano real se verifica incluso una paradojal mayor demanda a medida que aumenta la tarifa exteriorizándose así la actitud de los usuarios que sintiéndose castigados reaccionan aumentado el consumo.” (Guarch, 1992).

2. La fijación de la tarifa a través de la medición del consumo: En este caso, el precio o tarifa asume un rol protagónico. Guarch distingue la existencia de tres zonas en la curva de demanda.

1. La de alto valor de venta del metro cúbico de agua, donde existe un precio o demanda agregada que no disminuye aún aumentando el precio.
2. Una zona de comportamiento más elástico, donde es visible que una disminución porcentual en el precio del metro cúbico de agua provoca un aumento de la demanda de agua potable, y
3. Otra zona claramente inelástica, que se asemeja a la demanda para el sistema de renta fija. En esta zona el valor de venta de agua potable es tan bajo que no existe autocontrol y la demanda se incrementa poco en relación a disminuciones en los precios. En el plano teórico, un precio cero para el metro cúbico generaría un consumo similar a la demanda agregada del sistema de renta fija.

La información analizada, determina con claridad la irracionalidad de la cobranza del servicio por el sistema de renta fija, que lleva a una dilapidación de un bien escaso y fundamental como el agua. Este sistema debería desecharse urgentemente porque alienta el uso indiscriminado del bien, impide racionalizar la producción, encarece la prestación unitaria y produce una falsa sensación de falta de producción.

“Los resultados muestran que cerca de un tercio de las estructuras de los precios vigentes en los municipios canadienses, se componen de lo que comúnmente se denomina “tasas fijas”. El costo de una unidad extra o marginal, bajo este tipo de estructuras, es cero. Es decir, el agua llega a ser gratuita y por lo tanto se desperdicia, sin tomar en cuenta la necesidad de preservar el recurso.” (Tate y Rivers, 1994)

En este caso la curva de demanda tiene un comportamiento muy inelástico frente al precio. Generalmente la utilización del agua se ubica en los niveles que consumiría una persona cuando imperan los precios bajos y, dicho consumo se mantiene ante

aumentos del canon que debe pagar. Si dicha contraprestación se hace muy elevada, es probable que los usuarios reaccionen tratando de producir daño a la entidad prestadora; de esta manera la curva de demanda aumenta produciéndose un consumo irracional de agua.

La forma normal en que debe recuperarse un servicio es a través de su medición; cualquier otra situación que quiera llevarse a cabo puede significar una distorsión económica que arroje resultados totalmente imprevistos.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua hizo un estudio para evaluar el impacto de la micromedición en los usuarios. En tres sectores socioeconómicamente diferentes, se colocaron medidores ocultos y se midió el consumo. Después se colocaron los medidores en forma visible a los mismos usuarios y se volvió a medir el consumo respectivo.

Se encontró que los sectores de altos y bajos ingresos son poco sensibles a la medición, pero en los sectores de ingresos medios se redujo su consumo en un cincuenta por ciento (50%). En total la reducción del consumo fue del 25%.

Los resultados obtenidos en este estudio ratifican en parte el comportamiento descrito en Argentina. En el mismo sentido “pruebas efectuadas en el Reino Unido han demostrado que el simple uso de los medidores en las casas puede recortar el consumo de un 10 a un 15 por ciento.” (Postel, 1994)

En la certeza de la necesidad de medir los consumos de agua, el otro elemento adicional a estudiar es el sistema tarifario. “Históricamente los costos del agua han sido subsidiados en gran parte por los gobiernos de los países, sin embargo, cada vez es más difícil continuar con estos esquemas de financiamiento...” (Arreguín Cortés, 1994) Además, “...mucha de la escasez de agua que padece el mundo se debe a que no se hace una justa evaluación de su valor. Su bajísimo precio perpetúa la ilusión de que existe en cantidades ilimitadas y que no se pierde nada al desperdiciarla.” (Postel, 1994)

Las tarifas son un elemento fundamental en los programas de uso eficiente del agua. Según Grisham y Flemming (1989) las tarifas pueden ayudar a ahorrar el agua si en su estructura se observan las siguientes condiciones:

- que reflejen el costo real.
- que estén relacionadas con los consumos.
- que los incrementos diferenciales sean grandes para que puedan inducir a ahorrar agua.

- que los cambios de tarifas estén acompañados de programas de comunicación y educación.

En el momento de concretar el sistema de tarifación a través de la medición, es necesario no olvidar cobrar el producto "*disponibilidad del servicio*". Normalmente la forma de hacerlo es a través de un cargo fijo, es decir, un monto que deben afrontar todos los consumidores, estén o no conectados a la red (recordar las razones de salud pública para obligar a la conexión) y hagan o no uso del servicio.

El cargo fijo establecido puede ser fijado en función del tipo de servicio que recibe cada usuario o en función del diámetro de la cañería que lo abastece. Esto es así porque la solicitud de servicios distintos requiere diferentes instalaciones. El monto del cargo fijo debe provenir del costo de la estructura necesaria para llegar con el servicio a cada consumidor.

El criterio expuesto transforma el sistema de tarifación en binómico. Es decir, el monto a pagar por cada asociado surgirá de la suma de ese cargo fijo más el importe obtenido de multiplicar la cantidad de agua consumida por su precio. Suele ser común que el consumo termine abonándose en bloques, que aumenten o disminuyan el valor por metro cúbico de agua según se intente incentivar o disminuir el consumo.

En algunos municipios canadienses, pueden encontrarse situaciones donde el precio del agua disminuye progresivamente con el aumento del consumo. La razón de este tipo de estructura es una incentivación al consumo, en algún momento fomentada por la AWWA pero hoy desacreditada en la mayoría de los estudios. No obstante, si las regulaciones permitirían la formación de precios, las empresas lucrativas prestatarias del servicio recurrirían a esta forma de cobranza, pues aumenta el facturado y sus utilidades.

Las razones de la negación a su uso tienen que ver con que estimulan el abuso de los suministros de agua pública, llevando a un mal aprovechamiento de los recursos hídricos y sobredimensionamiento de las plantas. Además los problemas financieros que genera llevan a la ausencia casi completa de incentivos para el cambio tecnológico en la industria actual.

También hay casos de estructuras monómicas (un valor constante por unidad de medida) o de bloques crecientes, que presentan un precio marginal positivo (el agua aumenta a medida que se consume).

En el caso de La Pampa, el sistema tarifario prevé bloques que van aumentando a medida que se eleva el consumo. Existe un cargo fijo moderado, que no alcanza a cubrir los costos de la estructura empresaria y un valor determinado por metro cúbico consumido, que rige hasta los primeros nueve. Entre el décimo y el décimo octavo metro

cúbico el valor aumenta un cincuenta por ciento. Entre el décimonoveno y trigésimo, se paga un cien por cien de aumento y a partir de allí el valor queda fijado en un doscientos por ciento del precio base.

El problema de los sistemas tarifarios en bloque es que dificultan mucho la posibilidad de definir un precio para referenciar un consumo cuando se realizan trabajos de investigación. Algunos autores trabajan en base al precio promedio (Foster y Beattie, 1979), que resulta más fácil pero expuesto a severa crítica. “Creemos que el precio promedio no es apropiada para ser usada en una investigación acerca de los efectos de precio en el consumo de agua por dos razones. Primero, la forma de tabla de proporciones usada por la mayoría de los servicios de agua en los Estados Unidos tiende a hacer que el precio varíe inversamente con el consumo. Segundo, el precio promedio no está íntimamente relacionado al precio marginal mostrado por los consumidores” (Griffin *et al.* 1981). En igual sentido, se expresan trabajos señeros como los de Taylor (1975) y Howe (1981). Todos ellos utilizan en su análisis el precio marginal (el que deberían pagar si aumentan en una unidad el consumo), considerado más adecuado porque “constituye el precio relevante para que el consumidor decida si utilizará otra unidad de servicio o no” (Howe, 1981). Más allá de las ventajas teóricas, el precio marginal es más difícil de calcular y, quizás sea por esta cuestión, experiencias prácticas demuestran que el consumidor no lo utiliza (Balestri, 1999)

Más allá de la disquisición teórica de si tomar precio promedio o precio marginal como referente para evaluar el comportamiento de la demanda, no cabe duda que “el componente central de cualquier estrategia para conservar el agua es asignarle el precio más cercano al valor real de su suministro.” (Postel, 1994) La misma autora plantea que elevar los precios por el consumo del agua puede resultar muy difícil políticamente hablando, “pero si esta medida va acompañada de la información adecuada, que explique la necesidad de elevar los precios y que los usuarios los bajen mediante un consumo racional, puede tener efectos muy positivos”.

> Como demostración de lo escrito narra que en los años setenta los funcionarios de Tucson (Arizona) se enfrentaron a una escasez terrible del suministro de agua y los precios fueron elevados considerablemente para reflejar el verdadero costo de ese servicio. Casi al mismo tiempo pusieron en marcha una campaña educativa denominada “Derrotemos el pico”, cuya meta era reducir el uso del agua en las horas “pico” en las tardes de verano, cuando el suministro corría peligro de quedarse muy por debajo de la demanda. El resultado fue una reducción del 16% del consumo per cápita en los años siguientes.

El desarrollo de un sistema de tarifas retributivas del servicio de distribución de agua potable requiere tomar decisiones sobre dos cuestiones previas: Cuales son lo

costos que deben recuperarse a través del mismo y que condiciones debe tener el sistema de tarifas para asegurar que se alcancen los objetivos de la empresa como los de la ciudadanía.

En la primera de las cuestiones la respuesta indica la cobertura de todos aquellos costos que le permitan a la empresa funcionar y prestar el servicio con el nivel, amplitud y calidad exigibles y en condiciones de autosuficiencia económica. Velasco (1995) expresa que los ingresos procedentes de las tarifas deben garantizar: Que las remuneraciones y salarios puedan establecerse a un nivel que atraiga a gerentes y todo el personal necesario con la correspondiente cualificación y competencia; que los reactivos, materiales y elementos estén disponibles cuando sean necesario para una correcta operación; que las cuentas de energía eléctrica se paguen en los plazos estipulados; que las inversiones de reposición puedan hacerse en su momento y en forma efectiva, que las demandas de capital para afrontar la financiación de los planes aprobados de inversiones en ampliaciones y mejoras puedan satisfacerse y; finalmente, que el capital reciba la compensación proporcionada a los riesgos que asume.

Con respecto a la segunda cuestión el sistema debe cumplir una serie de condiciones tales como equidad (no debe haber discriminación entre usuarios o grupos de ellos), legalidad (debe cumplir con todas las condiciones que le sean de aplicación), simplicidad (debe ser sencillo de entender), facilidad (debe ser fácil de implantar, administrar o actualizar), competitivo (debe minimizar el impacto en los usuarios, no yendo más allá de lo que es necesariamente razonable con una gestión eficaz), conservador (debe promover el uso racional de recurso, sin despilfarros) y equilibrado (debe cuidar las semejanzas o justificar las diferencias en relación con las empresas de lugares vecinos, tanto en los valores como en la calidad del servicio).

La mayoría de los principios desarrollados por Velasco (1995) y generalmente reconocidos como base de un sistema tarifario, pueden resultar contradictorios en algunos casos en su aplicación. Por ejemplo, establecer un sistema de tarifas con bloques de precio unitario creciente cumple plenamente con el principio de conservación del recurso, pero puede ser contrario a la equidad porque probablemente no haya proporción con los costos específicos correspondientes a cada tipo de usuario e incluso puede ser contrario a la necesaria suficiencia financiera. Esta situación lleva a que en cada caso particular se realice un análisis de todas las alternativas técnicas, intentando optimizar el conjunto de objetivos que mas se adecue a las características del servicio.

El proceso de establecer la estructura y valores de un sistema tarifario de agua comprende la distinción de tres pasos: definir los costos a cubrir, asignar los costos del servicio y diseñar el sistema en sí. En la primera etapa está claro que los costos a cubrir son los de operación del sistema y los de capital. Los primeros no requieren explicación y

la necesidad de su cobertura es independiente de la naturaleza jurídica del ente prestador o modo de gestión con que se preste el servicio.

Velasco (1995) reconoce los costos funcionales o directos tales como los salarios abonados, el gasto en energía eléctrica, los productos químicos utilizados y todo tipo de materiales con incidencia directa en el servicio; los indirectos (como los gastos que puede demandar la contabilidad), los no recurrentes (por ejemplo la pintura de las instalaciones o reparación de equipos) y los de largo uso (el conjunto de bienes duraderos tales como útiles, herramientas o vehículos). Los costos indirectos, no recurrentes o de largo uso son lo que plantean los mayores problemas de asignación.

Los costos de capital requieren un análisis más detallado y su definición está influenciada por el tipo de gestión (en una empresa privada debe considerarse como costo la remuneración del capital) como por el modo de aproximación a dichos costos: contable o por flujo de caja. La cobertura de este tipo de costos puede realizarse de diversas maneras, aparte de la propiamente tarifaria. Pueden cobrarse tasas especiales (de ámbito temporal y espacial y a veces, limitado a los afectados solamente) que pueden ser liquidadas en la misma factura o en documento separado. Es común en las cooperativas de servicios públicos argentinas establecer una tasa de capitalización en forma porcentual sobre la liquidación de la prestación. En el caso de la empresa pública, situación que no resulta aconsejable, puede cargarse a fondo perdido o dotar al servicio de infraestructura por aportaciones de rentas generales.

Los costos de capital que indudablemente deben contemplarse y recuperarse con precisión son los provenientes al servicio de la deuda, incluidos los gastos adicionales de carácter financiero o legar que sea necesario realizar para disponer anticipadamente de un capital (por ejemplo, la colocación, gestión y reembolso de obligaciones o bonos).

“La recuperación de los costos de capital se realiza normalmente por un pago periódico que, por su naturaleza, está integrado en el término fijo de la tarifa. En ocasiones, al considerar que, en todo o en parte, las infraestructuras a construir y la amplitud con que debe ser construídas, son atribuibles a los usuarios del futuro, parece lógico responsabilizar a estos del coste de capital de estas nuevas instalaciones. Y ello obliga a imaginar otros planteamientos de financiación que trasladen a estos futuros usuarios la parte correspondiente de este coste” (Velasco, 1995). En la práctica, dichos procedimientos consisten en simular la evolución de los parámetros del sistema (usuarios, demanda, plan financiero, etc.) y con independencia de los costos de operación que deben ser pagado por los usuarios presentes, se aplica a cada usuario futuro un cargo único en el momento de la conexión, que equivale al valor actualizado de los costos de capital. El inconveniente del método es que dichos cargos pueden resultar muy gravosos si la obra en cuestión es muy importante. En el caso de los costos de los servicios eléctricos privatizados en Argentina, el cargo en cuestión se realiza calculando

el costo marginal de largo plazo del sistema, que de ese modo queda incorporado a la tarifa.

Una vez establecidos los costos a cubrir, el segundo paso es asignar y distribuir esos costos entre los usuarios de distinta naturaleza o clase. Normalmente los tipos de usuarios pueden ser residenciales (conviene distinguir unifamiliares o multifamiliares, en el centro o en la periferia), comerciales (acotar la actividad, área ocupada), industriales (distinguir tipo de actividad y estacionalidad de la misma), pública (escuelas, hospitales, cuarteles, bomberos). Es necesario tomar en cuenta la existencia de riego pues puede afectar notoriamente la naturaleza del servicio.

El objetivo de este paso es definir los factores de asignación más adecuados, para atribuir a cada tipo de usuario, una parte del costo total en la proporción que les corresponda. Estos factores de asignación de costos pueden incluir la demanda horaria, diaria y media del tipo de usuario, su localización en el sistema; las instalaciones o infraestructura realizadas específicamente para sus servicios y otros aspectos similares. A modo de ejemplo la punta horaria de un usuario residencial es normalmente distinta de la que puede tener un usuario comercial. Ello supone una eficiencia distinta en el uso del sistema que justifica un factor diferente en la atribución de costos que deben ser asociados con cada tipo de usuarios. Otro caso particular puede ser la localización en la ciudad que llevo al definir distritos o zonas de presión equivalente o tubería especial. Los mayores costos que signifiquen estas instalaciones deben ser soportados por las industrias o clientes que disfrutan de esta instalación especial.

Una vez asignados los costos a cubrir para cada tipo de usuario corresponde el diseño de un sistema de tarifas apropiado a cada consumidor. En algunos casos se diseña un concreto y específico sistema de tarifas. En otros casos lo que se diseña es un sistema de tarifas único cuya aplicación intenta recuperar, guardando las proporciones, los costos correspondientes a cada tipo de usuario.

Antes de definir el esquema tarifario es necesario hacer una referencia a los ingresos atípicos, entendiendo por tales aquello que proviene de otra fuente distinta a la tarifa. Pueden provenir de tareas específicas o de otras ligadas a la prestación del servicio que realiza la empresa (aprobación de instalaciones, inspecciones, acometidas) o por fuentes ajenas a la prestación como la renta de activos o ventas de sobrantes. Las tareas específicas son secundarias en relación con el objetivo principal de entregar agua potable y se realizan en beneficio de un usuario concreto o tipo de usuarios. Como estas actividades tienen un beneficio concreto la cobertura no debe hacerse a través de la tarifa sino de un precio preestablecido.

Al diseñar el sistema de tarifa que debe generar los ingresos necesarios para cubrir los costos totales es normal que la empresa establezca un cargo fijo por usuario y

un valor en proporción al volumen de agua entregado, tal lo definido al analizar la regulación de servicios públicos monopólicos.

El cargo fijo se define para obtener de los usuarios una cantidad que cubra determinados costos fijos: la gestión comercial del servicio (lectura, facturación, cobranza) y una parte significativa de los costos fijos de capital como puede ser el servicio de la deuda. En algunos casos, se busca la cobertura de los costos fijos de operación y mantenimiento. En el desarrollo de algún sistema de tarifas se supone que la existencia de un cargo fijo da derecho al uso de algún volumen concreto de agua, pero no siempre es así. El cargo fijo es un cargo por la disponibilidad del servicio y lo mejor sería que no incluyera una franquicia de uso

Una vez se han establecido los conceptos a recaudar mediante el cargo fijo, hay que definir la medida a utilizar para recaudarlos. Esta puede ser muy variada: una cantidad constante a todo usuario, una cantidad proporcional al diámetro de la acometida serían formas normales. En algunos casos se sabe fijar un valor en función del nivel de renta catastral de la vivienda o de la cantidad de metros cuadrados de construcción

En nuestro país, no es el caso de La Pampa, es bastante generalizado el sistema de facturación conocido como renta fija, donde lo único que se cobra es un cargo fijo, independientemente del consumo de agua realizado. Si bien el sistema es simple y omite la inversión en medidores del consumo, desde el punto de vista de la eficiencia, es sistema es precario.

El cargo variable es fijado en función del volumen o consumo de agua. Tiene por objeto la cobertura de los costos no cubiertos mediante los costos fijos. El procedimiento normal consiste en la instalación de medidores sobre los cuales se realiza una lectura periódica.

La aproximación más simple consiste en dividir los costos por cubrir por el volumen de agua que se prevé facturar, este resultado daría un cargo variable único e igual para todos los usuarios con independencia de su clase o tipo. Los sistemas de tarifas resultan en general más complejos, pues normalmente se usa una estructura de bloques para adaptar los costes del servicio a cada tipo o clase de usuarios y sus niveles de consumo.

2.7 Empresas distribuidoras de agua potable

En todos los lugares del mundo existe una única empresa a cargo de todas las etapas descritas del proceso de abastecimiento de agua potable. Ello significa la existencia de un monopolio natural. Más allá de esta situación, la posición de una empresa prestataria es muy cambiante, dependiendo de muchos factores que pueden condicionar el servicio y llevar a situaciones no asimilables. Entre estas situaciones destacan:

- La existencia de agua: No es lo mismo prestar un servicio a la orilla de un río caudaloso que en una zona semidesértica o desértica, con escasez de aguas superficiales y subterráneas. En este último caso las actividades y los costos serán indudablemente mayores.

- La calidad del agua.: No es lo mismo prestar un servicio donde el agua cruda captada presenta una calidad física, química y biológica aceptable, que donde no lo presenta. En este segundo caso pueden requerirse condiciones de tratamiento superiores que incidirán en los costos de prestación.

- La densidad de la zona a servir: No es lo mismo el abastecimiento a una zona densamente poblada, que a una pequeña localidad de población dispersa. En este último caso los costos medios serán mayores, pues a igualdad de costos fijos habrá menos usuarios para soportarlos.

2.7.1 Naturaleza jurídica de las empresas distribuidoras de agua potable

Además de esa situación, hay otro aspecto que corresponde ser analizado y es el referido a la naturaleza jurídica del prestatario. Como todo servicio público su prestación puede ser realizada directamente desde el Estado o a través de una concesión a otro tipo de empresa.

En el primer caso puede ser una prestación directa desde la administración central de algún gobierno local y su facturado depender de la ordenanza tarifaria anual o también puede organizarse como un organismo descentralizado o, directamente como

una empresa pública, situación que le permitirá mayor flexibilidad en su operación y poder trabajar en función de objetivos.

Cuando se trata de concesiones puede ser a una empresa lucrativa, cuya finalidad es la obtención de una ganancia como consecuencia del servicio o a una entidad cooperativa, modo con que suelen organizarse los usuarios para autoprestarse un servicio.

La empresa lucrativa como prestataria del servicio público de agua potable era casi inexistente en la República Argentina, hasta que hizo su irrupción durante el proceso privatizador de los años noventa. Las hubo de origen nacional y, la gran mayoría, fueron corporaciones transnacionales dedicadas a la administración global de redes de distribución. Son estos sujetos los que tratan el agua como un activo financiero, según los términos de Aguilera Klink y quienes, por naturaleza económica, intentaran maximizar sus beneficios, subordinado inclusive los niveles de inversión a este objetivo. El análisis de su comportamiento merecería un tratado especial.

La otra situación de prestación a través de una concesión no es demasiado común en otros países, pero sí en la Argentina, donde se desarrollo un modo especial de organización llamadas cooperativas de servicios públicos. Desde la experiencia de la Cooperativa Eléctrica de Punta Alta en 1926, pionera de este tipo de entidades asociativas, el cooperativismo de servicios públicos ha estado en permanente crecimiento.

Según Carello (1990) “El cooperativismo de servicios públicos cuenta con antecedentes que se remontan al siglo pasado, pero el que finalmente perduró y se consolidó hacia la década del veinte. Su origen se encuentra en la lucha por el abaratamiento del costo de la electricidad, suministrada en aquella época por empresas que eran en su mayor parte de capital extranjero”. Eran tiempos donde en la República Argentina, había centenares de servicios de electricidad que cobraban diversas tarifas, en general abusivas. En algunos eran prestados por personas originadas y otros por empresas extranjeras. Como dijimos, el origen fue Punta Alta donde según el autor citado, en “la población civil que rodea la base de Puerto Belgrano, un grupo de trabajadores se reunió un día con un técnico de la base naval, para ver si podía eliminar la explotación del servicio eléctrico, tan caro para ellos. "... así el 4 de julio de 1927 fundaron una Cooperativa de Electricidad.... Contra todos los vaticinios la iniciativa

prosperó y esa pequeña cooperativa de electricidad que se inauguró en septiembre de 1927 empezó a prestar servicio, cobrando la tercera parte de lo que cobraba el trust.”.

Las cooperativas eléctricas se multiplicaron y el cooperativismo se extendió prestando otros servicios. Aparecieron cooperativas de teléfonos, de gas, de agua potable, de desagües cloacales, de desagües pluviales y de transporte. Algunas de ellas se transformaron en multiactivas, es decir, prestadoras de más de un servicio y, en la búsqueda de escala, también incursionaron por otros negocios (plantas lácteas, comercialización de miel, criaderos de cerdos, salud, etc.). En esta categoría de cooperativas encontramos el sujeto en estudio: la cooperativa de Quemú Quemu.

2.7.2 Características de las cooperativas de servicios públicos

Como sujetos de derecho, las cooperativas están reguladas por una ley específica (Número 20.337 de 1973). la misma ley aclara que tiene un alcance referido sólo a los aspectos institucionales ya que, cuando la cooperativa realiza alguna actividad que tenga una regulación especial (financiera, de seguros o servicios públicos), será también de aplicación la normativa correspondiente a su objeto específico. Esta circunstancia lleva a una superposición de normas que, a veces, pueden aparecer como encontradas: la legislación de las entidades cooperativas, que pertenece al derecho privado y la legislación del servicio público, que pertenece al derecho administrativo de naturaleza pública.

En el artículo 2 la Ley 20.337 se caracteriza a las cooperativas como “... entidades fundadas en el esfuerzo propio y la ayuda mutua para organizar y prestar servicios.” Posteriormente enuncia sus caracteres:

1. Tienen capital variable y duración ilimitada.
2. No poseen límite estatutario al número de asociados ni al capital.
3. Conceden un solo voto a cada asociado y no otorgan ventaja ni privilegio alguno a los fundadores.
4. Reconocen un interés limitado a las cuotas sociales.
5. Cuentan con un mínimo de diez asociados, salvo excepciones admitidas.
6. Distribuyen los excedentes en proporción al uso de los servicios sociales.
7. Fomentan la educación y la integración cooperativa.

8. Prestan servicios a asociados y no asociados.

9. Limitan la responsabilidad de los asociados al monto de las cuotas sociales suscriptas.

10. Establecen la irrepartibilidad de las reservas sociales y el destino desinteresado del sobrante patrimonial.

Con la enumeración realizada queda claro la naturaleza de las entidades cooperativas. Son sujetos de derecho con todos los alcances de este concepto, pudiendo realizar las mismas acciones que cualquier otro tipo de sociedad. Sólo que en este caso el objetivo no es la realización de aportes con el propósito de repartirse las ganancias, sino el organizar y prestar servicios a sus asociados basándose en el esfuerzo propio y la ayuda mutua.

Es decir, son entidades solidarias creadas con la finalidad de realizar una prestación de servicios a sus asociados que, por el mecanismo de la asociación, procuran obtener un menor precio y/o una mayor calidad que si se lo procuraran por algún otro mecanismo del mercado. Su finalidad no es el lucro en la entidad, sino el mayor beneficio en el servicio al asociado.

Para Cracogna (1981) “constituyen una realidad compleja que abarca dos aspectos inseparables: una asociación de personas y una empresa económica. En efecto, la cooperativa es un grupo humano organizado para lograr ciertos objetivos de interés común a través de una empresa económica”, en consecuencia sería erróneo pensar que son sólo una empresa o una asociación de personas, ya que son ambas cosas a la vez. De todos modos la cooperativa, al igual que cualquier otro tipo de empresa, “... es una unidad de producción, una célula económica dotada de autonomía y de autarquía, que se mueve en el universo económico. En el ámbito externo la cooperativa adquiere sus input y vende sus output en el mercado y, en el ámbito interno combina sus input a través de un proceso de producción en el que ha de analizar los diversos costos para que al producirse la venta de sus output, su precio compense al menos el de los input.” (Fernández, 1983)

La naturaleza económica y social de las cooperativas obliga a revisar los criterios de eficiencia a aplicar en la prestación de los servicios, pues no puede ser medida como en la empresa lucrativa a través de la rentabilidad, ya que no es su objetivo. “Las cooperativas son empresas diferentes. Empresas de servicio y no de lucro, para las cuales la satisfacción de necesidades es un fin y no simplemente un medio. Empresas

constituidas y administradas por sus propios usuarios, por sus propios clientes. Empresas que funcionan de acuerdo con principios de vigencia universal que tienden a afirmar el valor humano en el proceso económico.” (Mason, 1981). Sigue diciendo el mismo autor “¿Y cuándo es eficiente esta empresa diferente, empresa económica con proyección social? En lo económico su meta será alcanzar el mejor servicio al menor costo, términos que al contraponerse tornan tan difícil la gestión cooperativa. "... El control de eficiencia en lo económico no debe apuntar en las cooperativas a la rentabilidad, como en las empresas lucrativas, sino a la calidad y al costo de sus servicios”. En consecuencia, disponer de un programa que permita combinar el proceso productivo para obtener el menor costo es algo esencial al funcionamiento de estas entidades.

Anteriormente se ha expuesto que las empresas prestatarias de los servicios públicos tienden al “monopolio natural”. Las cooperativas no escapan a esta regla y, como bien lo define Fernández (1983), son un monopolio de oferta, así, una sola empresa proporciona toda la oferta de un producto. Si aumenta su producción en un 5%, ese aumento se transforma en un aumento de oferta, y la consecuencia inmediata es una baja de precios. Es decir que los aumentos de producción son seguidos de disminuciones de precios, de ahí que el ingreso generado por la última unidad es inferior al de todas las unidades anteriores y la curva de ingresos medios será distinta a los ingresos marginales.

Atendiendo a la teoría del monopolio natural, el equilibrio del monopolista está cuando el ingreso marginal corta al costo marginal y, en ese nivel productivo la empresa está obteniendo el mayor beneficio posible. Si ésta fuese la situación de una cooperativa de consumo, del tipo de servicios públicos, frente a los beneficios monopolísticos, la asamblea decidirá la distribución del beneficio. Sigue Fernández (1983): "... si la cooperativa destinara todos los excedentes o una gran parte de ellos a reservas, al materializarse se adquirirán nuevos bienes de producción que traerán como consecuencia un aumento de la oferta que, a largo plazo, se traducirá en una disminución de los precios".

Si por el contrario, distribuye los beneficios en retornos cooperativos, los socios experimentan un aumento de su liquidez que distribuyen según sus preferencias. Si las preferencias siguen siendo las mismas, gran parte de los retornos se gastarán en el producto monopolizado, desplazando las curvas de demanda e ingreso marginal hacia la derecha. De esta forma, al regresar los excedentes al bolsillo de los consumidores, deja

el precio en un nivel cercano al que hubiera quedado en competencia perfecta. La conclusión, según el último autor citado, es simple: “Las cooperativas de consumo pueden, pues, en una situación monopolística de oferta, conseguir volúmenes de producción y precios semejantes a los que se hubieran alcanzado en un mercado de competencia perfecta.”

¿Qué es un servicio público? No obstante la disparidad de criterios existente y la severa crisis que atraviesa el término enmarcado en un agudo proceso privatizador, cabría reconocer que “... existe generalizada coincidencia en torno a la finalidad del servicio público, que es siempre la satisfacción de una necesidad pública o colectiva. Para realizarla es que se lo dota de medios exorbitantes al derecho común, requeridos para asegurar los caracteres del servicio público: continuidad, generalidad, uniformidad y regularidad.” (Carello, 1990)

La cooperativa de servicios públicos nace como persona privada no estatal y su finalidad es, en primer término, el servicio a sus asociados, sin perjuicio del esfuerzo que debe hacer, como cooperativa, para compatibilizar el interés de aquellos con el interés general. La autorización para prestar un servicio de esta naturaleza no modifica esa condición jurídica primordial, lo que significa que la cooperativa tiene personalidad jurídica de carácter privado.

Para cerrar este acápite parece oportuno relevar el estado de las prestaciones de servicios públicos de agua potable y ubicar dentro de ellos a las cooperativas.

Dice Nahón (2006) refiriéndose a los servicios de distribución de agua potable “*sus características técnicas –monopolio natural con elevados costos hundidos- y sociales -necesidad básica para la población con efectos sobre la salud pública- y los complejos requerimientos que implica su necesaria gestión integral -ambiental, salud pública e industrial- son algunos de los elementos utilizados para explicar estas dificultades de implementación*”. En ese contexto, sostienen Balestri y Castro (2008), que la naturaleza jurídica del ente prestador influirá de un modo determinante en la resolución de esos problemas.

La naturaleza del prestador dependerá de lo que se defina como naturaleza del producto a distribuir: los autores se preguntan: ¿el agua es un activo financiero o un activo ecosocial? Este debate concatenado en cuanto a la naturaleza del agua potable y del ente prestador *“es un tema central de la agenda del post Consenso de Washington*”. Balestri y Castro (2008) sostienen que se avizora un “notorio cambio de tendencia

(algunas empresas volvieron a la órbita estatal, y la crisis financiera internacional desacredita soluciones privatistas), pero la ideología liberal sigue estando presente desde el poder que generan los recursos de los organismos multilaterales de crédito y la prédica mediática", indican que se avanza a una nueva configuración de estructuras hegemónicas mundiales que requiere "volver a debatir sobre los organismos gestores del agua potable", aunque no será posible avanzar con un "estado mínimo".

En consecuencia, deberá el Estado recuperar su rol rector en la sociedad y "*retomar el camino de la planificación*" que indudablemente debe ser participativa como un modo de legitimar e incorporar en la solución de problemas a la llamada ciencia posnormal (Funtowicz y Ravetz, 1993). La nueva economía del agua plantea el desafío de encontrar nuevas formas de democracia, con más deliberación, con más involucramiento de los actores. Es en este marco que Balestri y Castro (2008) agregan como solución a los problemas de distribución de agua la cooperativización de servicios. AIDIS Argentina les reconoció un papel muy importante en la gestión de las pequeñas y medianas localidades, situación que los autores citados amplían también a las grandes ciudades, aunque para ello deberán solucionar las dificultades de financiamiento y llevar adelante fuertes políticas de recuperación de costos, situación que requiere del apoyo estatal que debe permitir llevar esos niveles a las tarifas. Es necesario ser muy claros en este problema, si no se recuperan los costos, parte de las inversiones que requiere mantener y ampliar el servicio requerirán recurrir al presupuesto público.

Coincidimos en remarcar que son las cooperativas los entes que mejor se adaptan a las exigencias de los tiempos, porque constituyen organizaciones de usuarios asociados para lograr una prestación confiable y la protección, preservación y recuperación de los recursos naturales, así como el medio ambiente. Son, también, entidades cuyos dirigentes son locales, elegidos por el voto democrático y democráticamente pueden ser cambiados y son "*son empresas sociales, que tienen claro su objetivo*", razón por la cual pueden evaluar su eficacia y su eficiencia. "*Están obligadas a presentar balance y anualmente a rendir cuentas de sus acciones ante los asociados, que son su clientes*" (Balestri y Castro, 2008). También rinden cuentas ante los organismos reguladores, en una situación donde prestador y controlador defenderán un mismo interés: el de sus asociados. De ese modo será imposible la cooptación del regulador por el regulado. En los últimos tiempos han agregado la obligación de rendir cuentas sociales en un documento que obliga a planificar y evaluar metas: el Balance Social.

Si bien actúan en condiciones de monopolio, al no intentar maximizar sus utilidades, encuentra el equilibrio empresario más cerca del nivel de competencia perfecta, lo que significa una mejora en la eficiencia social. Su toma de decisiones está cercana a los costos medios más que fundada en principios marginalistas, significando valores menores que los monopólicos y mayor cantidad ofrecida por producto. Las decisiones de inversión cooperativas están reguladas por el deseo de llegar a todos sus asociados y no por el criterio de rentabilidad. Esta es otra diferencia notoria frente a las empresas privadas lucrativas, que en situación monopólica solo invertirán hasta sostener el negocio y no tendrá necesidad de invertir más ya que las rentas extraordinarias no atraerán inversores porque los costos hundidos son fuertes barreras de entrada y la "mano invisible" no actúa. Para cerrar, recordemos que consideran el agua como un activo financiero (Aguilera Klink, 1998), por lo que si la rentabilidad es menor a la obtenible en otros mercados, abandonaran el negocio o agotaran el recurso. Cualquier parecido con lo ocurrido en la Ciudad de Buenos Aires y la región metropolitana, no es pura coincidencia.

Si ocurriese en una cooperativa una apropiación adicional de "excedentes del consumidor", el compromiso de retornarlos en función de las operaciones realizadas, significa su devolución. En servicios de tamaño importante, la cooperativa gana en escala y baja los costos medios, acercándose a la solución de competencia perfecta. Por el contrario, al ser empresas democráticas, las estrategias de inversión no se resuelven por rentabilidad sino en la asamblea anual donde corresponde tratar el programa de inversión y su financiamiento.

Balestri et al (2001) comentan que "*son entes autogestionados por los propios clientes a través de procesos democráticos y duración limitada de sus mandatos, razón por la cual no cabe esperar una actitud de explotación del usuario".* La legislación prevé mecanismos de control para evitar que grupos de asociados o gerentes puedan tener malos desempeños o capturen la organización en provecho propio. En ese sentido, el síndico es una figura clave que debe velar por los asociados clientes y evitar cualquier manipulación. Por lo expuesto, "*resulta apreciable, al menos en el campo del funcionamiento ideal, que las cooperativas ofrecen notorias ventajas para la prestación de servicios públicos monopólicos, entre los que se encuentra el abastecimiento de agua potable a una ciudad*"(Balestri et al, 2001). Lo que no impide reconocer deficiencias como culturas burocratizadas, dirigencia que no practica la cultura cooperativa y muchos usuarios asociados, no por convicción, sino para acceder al servicio, por lo tanto, sin un espíritu inspirado en los valores cooperativos. Pero, dicen Balestri y Castro (2008), "aún

reconociendo que las prestaciones cooperativas no sean las teóricas y que los desvíos la aproximen a la solución monopólica, siguen siendo la mejor alternativa.

Las ventajas también aparecen cuando se evalúan comportamientos frente al ambiente. Balestri et al. (2001) sostenían que "*en la gestión de las cooperativas resultará beneficiado el medio ambiente, pues son entes capaces de gestionar basados en un enfoque ecosistémico que consiste en beneficiarse del trabajo de los procesos naturales*", por su parte Balestri y Schulz (2005) indican capacidad potencial de las cooperativas para proporcionar incentivos a la gestión de la demanda, a fin de mejorar la eficiencia técnicas en las redes de distribución y en los niveles de consumo y para sustituir el esfuerzo humano por la economía de la naturaleza, esencia del buen sentido, tanto económico como ecológico. Pero además, son los organismos no lucrativos (públicos y cooperativos) quienes pueden "*abrir un debate sobre el agua creando foros de discusión que permitan consolidar una adecuada comprensión colectiva sobre los problemas que afectan a este recurso",* como sugiere Aguilera Klink et al(1998).

Ni foros ni gestión de demanda cabe esperarse de las empresas lucrativas ya que su negocio está en vender más e incentivar el consumo. La experiencia pampeana puede ser un buen ejemplo de esta propuesta donde gran parte de los servicios provinciales fueron transferidos "*a la población organizada en instituciones representativas como cooperativas",* asignándoles *"la responsabilidad de administrar sus propios servicios"* y transfiriendo *"la toma de decisiones en lo que hace a sus condiciones de vida".* Pero además *"esta política permite movilizar recursos financieros de la comunidad en su propio beneficio, logrando de acuerdo a experiencias verificadas, un mejoramiento en la eficacia del sector debido al directo control de la comunidad de usuarios sobre los servicios*" (Schulz et al, 2001). Quizás, sea ésta mayor ventaja de las cooperativas sobre las empresas lucrativas y públicas. Procurar fortalecer el sujeto democrático local y movilizar recursos comunitarios y económicos que vuelven a esa misma comunidad.

Capítulo 3. Aspectos Metodológicos

3.1 Modelos Matemáticos de Optimización

Al introducirnos en la temática de la modelación, cabe referirnos en primer lugar a la tarea que evoca y hace posible el planteo de un modelo de optimización, como lo es la investigación operativa. La misma puede definirse como la aplicación de métodos científicos en la mejora de la efectividad en las operaciones, decisiones y gestión (Robinson, 1999).

Otra definición más extensa es la siguiente: la investigación operativa es la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a los problemas complejos producidos en la dirección y gestión de grandes sistemas de hombres, máquinas, etc. La principal característica consiste en construir un modelo científico del sistema del cual se pueden predecir y comparar los resultados de diversas estrategias, decisiones, incorporando medidas del azar y del riesgo. El objetivo es ayudar a los responsables a determinar su política y actuaciones en forma científica.

Su principal objetivo consiste es recoger y analizar datos, desarrollar y probar modelos matemáticos, proponer soluciones o recomendaciones, interpretar la información y, en definitiva, ayudar a implantar acciones de mejora. Como resultado desarrollan e implantan aplicaciones informáticas, sistemas, servicios técnicos o productos.

La optimización es una parte relevante dentro de la investigación operativa. Tuvo un progreso algorítmico inicial muy rápido. Muchas técnicas – programación lineal (*linear programming*) LP, programación dinámica (*dynamic programming*) DP – son anteriores a 1960. Por ejemplo, el método Simplex de programación lineal debido a Dantzig es de 1947, el principio de optimalidad de Bellman base de la programación dinámica se formuló en 1957. Trabajos más actuales relacionados al tema, pueden consultarse en (Hillier y Lieberman, 1997), que constituye un libro clásico de investigación operativa muy ampliamente utilizado que compendia numerosos temas y tiene una orientación ingenieril. (Taha, 1998) presenta los temas con una orientación más matemática, mientras que (Winston, 1994) los presenta con una perspectiva más relacionada a la administración de empresas. (Sarabia, 1996) da una base teórica suficiente para poder resolver una colección de problemas relacionados con el temario de investigación operativa.

También son numerosas las revistas que tratan el tema de optimización, entre las que se pueden mencionar: Interfaces, Operations Research, European Journal of Operacional Research, Mathematic of Operations Research, Informs Journal on Computing, Journal of the Operacional Research Society, Journal of Optimization Theory

and Applications. Existe también una enciclopedia de investigación operativa que puede servir como consulta inicial y referencia de un tema específico, ver (Gass, 2001).

La optimización consiste en la selección de una alternativa mejor, en algún sentido, que las demás alternativas posibles. Es un concepto inherente a toda la investigación operativa, sin embargo, determinadas técnicas propias de la investigación operativa se recogen bajo el nombre de optimización o programación matemática. Además de las técnicas de optimización, la investigación operativa incluye también otras como teoría de la decisión.

Los problemas de optimización se componen generalmente de estos tres ingredientes:

- ***Función Objetivo:***

Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar). Como ejemplo de funciones objetivo se pueden mencionar: la minimización de los costos variables de operación de un sistema eléctrico, la maximización de los beneficios netos de venta de ciertos productos, la minimización del cuadrado de las desviaciones con respecto a unos valores observados, la minimización del material utilizado en la fabricación de un producto, etc.

- ***Variables:***

Representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo. Desde el punto de vista funcional se pueden clasificar en variables dependientes o *auxiliares* o de *estado*, aunque matemáticamente todas son iguales. En el caso de un sistema eléctrico serán los valores de producción de los grupos de generación o los flujos por las líneas. En el caso de la venta, la cantidad de cada producto fabricado y vendido. En el caso de la fabricación de un producto, sus dimensiones físicas.

- ***Restricciones:***

Representan el conjunto de relaciones (expresadas mediante ecuaciones e inecuaciones) que ciertas variables están obligadas a satisfacer. Por ejemplo, las potencias máxima y mínima de operación de un grupo de generación, la capacidad de producción de la fábrica para los diferentes productos, las dimensiones del material bruto del producto, son todos ejemplos de restricciones.

Resolver un problema de optimización consiste en encontrar el valor que deben tomar las variables para hacer óptima la función objetivo satisfaciendo el conjunto de restricciones.

Existen algunos tipos de problemas de optimización de alteran ligeramente este esquema:

- *Sistemas de ecuaciones lineales-no lineales*

No existe una función objetivo como tal. Unicamente interesa encontrar una solución factible a un problema con un conjunto de restricciones.

- *Optimización sin restricciones*

Se trata de encontrar el conjunto de valores de las variables que determinan el mínimo/máximo de una función. Algunas de las técnicas que ser verán en programación no lineal son para optimización sin restricciones.

- *Optimización multiobjetivo*

Existe más de una función objetivo. El problema que se plantea es cómo tratar varias funciones objetivo a la vez, teniendo en cuenta que el óptimo para un objetivo no lo es para otro, son objetivos en conflicto entre sí.

Los métodos de optimización los podemos clasificar en: ***métodos clásicos*** (que son lo que habitualmente se explican en los libros de optimización) y ***métodos metaheurísticos*** (que aparecieron ligados a lo que se denominó inteligencia artificial). Dentro de los primeros se encuentra la optimización lineal, lineal entera mixta, no lineal, estocástica, dinámica, etc. En el segundo grupo se incluyen los algoritmos evolutivos (genético, entre otros), el método del recorrido simulado (*simulated annealing*) o las búsquedas heurísticas (método tabú, búsqueda aleatoria, etc). De forma muy general y aproximada se puede decir que los métodos clásicos buscan y garantizan un óptimo local mientras que los métodos metaheurísticos tienen mecanismos específicos para alcanzar un óptimo global aunque no garantizan su alcance.

Existen decisiones que no pueden ser representadas de forma adecuada mediante variables continuas. Por ejemplo, las decisiones de inversión son variables discretas o binarias (como localización de plantas o almacenes). Estos problemas se denominan, genéricamente, de programación lineal entera mixta, son problemas lineales donde algunas o todas las variables son enteras. Los problemas lineales con variables enteras se pueden clasificar en: *PIP (pure integer programming*) si todas las variables son enteras, *BIP (binary integer programming)* si todas son binarias o *MIP (mixed integer programming*) si algunas son enteras o binarias y el resto continuas.

3.1.1 Modelo y modelado

Un modelo es una representación matemática simplificada de una realidad compleja. Modelar es la acción de construir un modelo, de encorsetar la realidad. Es en definitiva, una herramienta de ayuda a la toma de decisiones. Por esta razón, sus resultados deben ser inteligibles y útiles. Modelar se puede entender simultáneamente como ciencia y arte. Es una ciencia pues se basa en un conjunto de procesos

estructurados: análisis y detección de las relaciones entre los datos, establecimiento de suposiciones y aproximaciones en la representación de los problemas, desarrollo o uso de algoritmos específicos de solución. Es un arte porque materializa una visión o interpretación de la realidad no siempre de manera unívoca. El desarrollo de un modelo es una creación hecha con ayuda de ciencias básicas o herramientas de apoyo.

Entre los beneficios explícitos o implícitos, tanto para el modelador como para el experto, derivados del proceso del modelado además del modelo en sí mismo, se pueden mencionar:

- Organiza los datos, la información disponible sobre el sistema.
- Organiza, estructura y mejora la comprensión del sistema.
- Internaliza la estructura organizativa de la empresa.
- Proporciona un entorno ágil para el análisis y la sensibilidad
- Indica la dirección de mejora en las decisiones

Se tratará exclusivamente de modelos de optimización, es decir, aquellos donde existe un conjunto de *variables* de decisión que deben maximizar / minimizar una *función objetivo* sometidas a un conjunto de *restricciones*. Los modelos de programación lineal son más utilizados que todos los otros tipos de optimización juntos y abarcan cualquier tipo de actividad humana como micro y macroeconomía, finanzas, marketing, economía de la energía, organización de la producción, planificación de la operación, selección de procesos, asignación de tareas, ingeniería química, forestal, agrónoma, comercio internacional (Schrage, 1997).

3.1.2 Etapas en el desarrollo de un modelo

Las etapas que componen el ciclo de vida de un modelo son las siguientes:

- ***Identificación del Problema***

Consiste en la recolección y análisis de la información relevante para el problema. Los problemas reales suelen estar definidos en términos vagos e imprecisos, por lo que se debe hacer la tarea de traducción o interpretación en frases precisas, convertibles en ecuaciones matemáticas. En esta etapa se establecen y documentan los supuestos realizados que en etapas posteriores deberán ser validados.

Esta etapa es fundamental para que las soluciones proporcionadas, las conclusiones obtenidas sean útiles, las decisiones adoptadas sean correctas. Los datos suelen ser vitales para conseguir un realismo o aplicabilidad en las soluciones. A menudo representan un cuello de botella del proceso de modelado.

- ***Especificación Matemática y Formulación***

Escritura matemática del problema de optimización, definiendo sus variables, sus ecuaciones, su función objetivo, sus parámetros. En esta etapa se analiza el tamaño del

problema, la estructura de la matriz de restricciones, su tipo (LP, MIP, NLP). Es una etapa de creación donde se debe prestar especial atención a la precisión en la formulación y a la escritura de las ecuaciones que describen el problema. Hay que tener en cuenta, además, que existen diversas alternativas de modelado (especialmente en programación entera) que afectan de manera fundamental en la resolución del mismo, existiendo un desarrollo cada vez mayor en la reformulación del problemas.

La caracterización de un problema LP según su tamaño resulta difícil y ha sufrido un gran cambio desde los recientes desarrollos de algoritmos simplex mejorados. Actualmente puede afirmar que los códigos de optimización lineal implantan algoritmos muy eficientes, son fiables y numéricamente robustos y están ampliamente disponibles.

- ***Resolución***

Se trata de implantar un algoritmo de obtención de la solución numérica (muy próxima a la matemática óptima o cuasióptima. El algoritmo puede ser de propósito general (método simplex) o específico. Puede haber diferentes métodos de solución de un problema o diferentes implantaciones de un mismo método. El tiempo de resolución de un problema también puede depender drásticamente de cómo esté formulado.

La solución óptima deber ser suficientemente satisfactoria, debe ser una guía de actuación para el experto.

- ***Verificación, validación y refinamiento***

Esta etapa conlleva la eliminación de los errores en la codificación, es decir, conseguir que el modelo haga lo que desea (depurar y verificar). Es necesario comprobar la validez de las simplificaciones realizadas a través de los resultados obtenidos, incluso contrastando éstos con situaciones reales ya transcurridas (validar).

Esta etapa de verificación, validación, comprobación da lugar a nuevas necesidades de modelado para mejorar la capacidad de representación de la realidad, a nuevos refinamientos indicados por el usuario.

- ***Interpretación y análisis de los resultados***

Esta etapa consiste en proponer soluciones. Permite conocer en detalle el comportamiento del modelo al hacer un análisis de sensibilidad en los parámetros de entrada, estudiar diferentes escenarios plausibles de lo parámetros, detectar soluciones alternativas cuasióptimas pero suficientemente atractivas, comprobar la robustez de la solución óptima.

- ***Implantación, documentación y mantenimiento***

Esta es una etapa fundamental del desarrollo de un modelo para garantizar su amplia difusión. La documentación ha de ser clara, precisa y completa. El manual de usuario debe incluir la especificación técnica funcional, matemática e informática. El propio código debe incluir una buena documentación para facilitar la tarea del mantenimiento. Piénsese que la mayor parte del ciclo del vida de un modelo no está en

el desarrollo sino en la fase de uso y mantenimiento. En esta etapa se incluye también la tarea de formación para los usuarios del modelo. (Williams, 1999).

3.1.3 Codificación de problemas de optimización

3.1.3 a Lenguajes de modelado

Las principales alternativas actuales para el desarrollo de modelos de optimización suelen ser, (Sharda, 1995):

a) ***Lenguajes de programación de propósito general*** (C, C++, Java, Visual Basic, Fortran 90) que llaman a una biblioteca de optimización. Tienen sentido cuando el tiempo de solución es crítico o el modelo es ejecutado con mucha frecuencia o cuando se necesitan interfaces a medida para la entrada de datos o salida de resultados o cuando el modelo tiene que ser integrado en otra aplicación o se necesitan algoritmos de optimización específicos.

Además permiten la implantación del modelo en un entorno software o hardware especial. Como contrapartida requiere un tiempo de desarrollo muy elevado y, sobre todo, presenta una gran dificultad y consumo de recursos para el mantenimiento del código.

b) ***Lenguajes o entornos de cálculo numérico o simbólico*** (hojas de cálculo, como es el caso de SOLVER, lenguajes para el cálculo numérico intensivo, como MATLAB, o para cálculo simbólico, como Maple o Matemática, etc). Los optimizadores de las hojas de cálculo, por ser aplicaciones muy comunes y conocidas, *pueden ser un vehículo eficaz de difusión de un modelo entre cierto tipo de usuarios y facilitan el manejo de datos que se encuentren ya en dicho formato* (Ragsdale, 1998).

Como ventajas específicas se pueden mencionar: su facilidad de uso, su integración total con la hoja de cálculo, la familiaridad con el entorno que facilita la explicación del modelo y de sus resultados, así como la facilidad de presentación de resultados en gráficos. Sin embargo, no inducen una buena práctica de programación, presentan la dificultad de su desarrollo, verificación, validación, actualización, documentación y, en general, el mantenimiento del modelo y no permiten modelar problemas complejos o de gran tamaño (Gass, 1995).

Los lenguajes de cálculo numérico o simbólico no son específicos de problemas de optimización pero facilitan la manipulación numérica o simbólica de matrices y vectores. También disponen de funciones de optimización. Todas estas alternativas pueden ser utilizadas para el desarrollo rápido de un prototipo o una demostración ya que presentan capacidades de presentación gráfica que pueden ser aprovechadas. Son

difícilmente utilizables cuando se plantean problemas de optimización de tamaño medio o superior.

c) ***Lenguajes algebraicos de modelado***. Son las alternativas más complejas y potentes por su capacidad de indexación de las variables y ecuaciones, permiten cambiar sin dificultad las dimensiones del modelo, de forma natural separan datos de resultados. Desde el punto de vista del modelador permiten la detección de errores de consistencia en la definición y verificación del modelo. Desde el punto de vista del usuario simplifican drásticamente su mantenimiento. Entre los lenguajes de modelado más conocidos se pueden mencionar: GAMS (www.gams.com) y AMPL (www.ampl.com) de origen estadounidense y AIMMS (www.aimms.com) y XPRESS-MP (www.dash.co.uk) de origen europeo, por citar algunos.

Existe una herramienta integrada denominada OPLStudio (www.ilog.com), en la que se dispone de un lenguaje de modelado (OPL) y varios optimizadores dependiendo del modelo propuesto. Está especialmente desarrollada para problemas de programación y planificación, aunque admite también cualquier modelo de optimización lineal y lineal entera mixta. Es una herramienta integrada ya que además del lenguaje de modelado, incluye sus propios optimizadores, tales como Planner, Solver, CPLEX, estando los dos primeros basados en la programación de restricciones y el último en programación matemática.

GAMS es un lenguaje muy difundido comercialmente, mientras que AMPL se está potenciando mucho en las universidades estadounidenses. Existe un proyecto NEOS (www.neos.mcs.anl.gov) para el cálculo distribuido que permite el envío de problemas de optimización escritos en AMPL o GAMS a través de Internet y éstos son resueltos en servidores de red devolviendo los resultados de la optimización.

Es numerosa la bibliografía específica en relación a este tema, constituyendo material de consulta a modo de guías de usuario tanto para el lenguaje GAMS (Brooke, 1998), (McCarl, 1998), para AMPL (Fourer, 2000), o para OPL (Van Hentenryck, 1999). Incluso en España se ha publicado un libro de optimización que se apoya en GAMS para la presentación de ejemplos (Mocholí, 1996). Los campos de aplicación de estos lenguajes son tan amplios como los de la optimización propiamente dicha. Abarcan desde la micro y macroeconomía, a la economía de la energía, a la planificación energética o eléctrica, a la ingeniería química o forestal, a la planificación del desarrollo económico o del contenido internacional o a la cobertura de riesgos financieros.

3.1.3. b Lenguajes algebraicos de modelado

Los lenguajes algebraicos son lenguajes de alto nivel que han sido diseñados específicamente para el desarrollo e implantación de modelos de optimización de forma más directa para los programadores y más inteligible para los usuarios. En consecuencia, el campo de actuación y utilidad de los modelos de optimización se ha ampliado notablemente al utilizar esto lenguajes. Entre sus características y ventajas principales destacan las siguientes:

- Proporcionan una formulación sencilla de modelos grandes y complejos.

- Facilitan el desarrollo de prototipos.

- Recogen simultáneamente la estructura del modelo y su documentación

- Separan de manera natural los datos de la estructura del modelo y ésta de los algoritmos de solución.

- La formulación del problema es independiente del tamaño. Permiten el uso de la estructura del modelo para diferentes casos.

- Los optimizadores pueden ser intercambiados sin dificultad, se pueden probas nuevos optimizadores, nuevos métodos o nuevas versiones.

- Permiten la realización de cambios en el modelo de manera sencilla y segura, es decir, se puede afrontar un refinamiento continuo en la formulación del problema.

Como desventajas principales se pueden mencionar las siguientes:

- No son adecuados para la resolución de problemas de pequeño tamaño por parte de usuarios esporádicos por la barrera de entrada que supone el aprendizaje de un nuevo lenguaje.

- No pueden utilizarse para la resolución directa de problemas excesivamente grandes, cuya formulación completa incluso no se puede realizar (por ejemplo, a partir de 1 millón de restricciones y/o variables)

- En la ejecución se incluye un tiempo de creación del modelo y de interfaz con el optimizador que ralentiza la obtención de la solución, por lo tanto no es recomendable cuando el tiempo de ejecución es un factor crítico.

3.1.4 Optimización económica en la explotación de acuíferos

Como ya se ha mencionado, uno de los problemas más comunes que presentan las empresas que realizan el servicio de captación, potabilización y distribución de agua potable es la optimización de la producción sostenible de agua. No obstante, dichas empresas, presentan algunas particularidades que llevan a agregar algún otro tipo de análisis. Esta dificultades se presentan sobre todo en el ámbito de la captación del agua, cuando la misma tiene un origen subterráneo, como en el caso de Quemú Quemú; donde juegan factores diversos tales como costos de producción, los niveles de contaminación del acuífero y las posibilidades ciertas de destrucción.

Ferreiro Chao (1992) plantea que el estudio económico de estas cuestiones debe incluirse dentro de la categoría de los recursos naturales renovables. En este ámbito se habla de flujo de recarga, entendiendo por tal el balance neto del aporte bruto recibido menos la salida por descarga natural. En términos generales, puede decirse que el aporte bruto está determinado en forma exógena al sistema, pero la descarga natural es función del volumen de agua almacenada en cada momento. Por lo tanto la recarga neta será dependiente del volumen almacenado o nivel de agua del acuífero. Este movimiento natural es a su vez alterado por la extracción de agua que se realiza al cumplir con alguno de los fines analizados: distribución urbana, riego rural o uso industrial.

Es bastante común en los últimos tiempos el desarrollo de modelos de optimización de la explotación de un acuífero a partir de la descripción realizada y procurando realizar una gestión sostenible del mismo.

3.1.5 Modelo de Optimización de acuíferos

Durante el Seminario “Evaluación Económica de los costos y beneficios de la mejora ambiental”, realizado en Sevilla en 1990, Ferreiro Chao presentó un atractivo modelo matemático de optimización de la explotación de un acuífero por medio de la técnica del control óptimo. En el mismo desarrolla una serie de variables y funciones que intentan explicar el funcionamiento de estos sistemas.

En primer lugar describe la llamada variable de estado, representada por una X, que representa la característica relevante del sistema. En el caso del acuífero de Quemú Quemú, puede corresponder al volumen o cantidad de agua almacenada o a la altura del nivel superior de la reserva acuosa. Si se conociese con exactitud la geometría del acuífero podría pasarse de una versión a otra utilizando la relación funcional que expresa el volumen de agua en función de su nivel.

La evolución de la variable de estado está determinada por el efecto de dos flujos contrapuesto: la recarga del sistema (**F**) y el flujo de extracciones de agua para su utilización por el hombre (**E**). La relación entre éstas admite muchas formas funcionales que en general se corresponden con las distintas variedades hidrológicas de los acuíferos y de sus regímenes de explotación.

Con ellas puede formularse el balance hídrico de la reserva de agua, equivalente a la diferencia entre **F** y **E**. Como habíamos mencionado **F** depende de elementos externos al sistema, por lo que la única variable dependiente de la empresa gestora es **E**.

Al introducir en la ecuación del balance dinámico del sistema la extracción de agua para usos humanos se altera el equilibrio dinámico inicial. Con seguridad aumentará **E** y puede que se reduzca la descarga natural, modificándose la relación de equilibrio con el entorno inmediato. También es probable que una parte de las extracciones de agua retornen al acuífero como agua excedente o residual del uso humano, variable que es representada con la letra **R**.

R es la variable que simboliza los retornos aguas residuales del uso humano. En la consideración de esta variable es fundamental tomar en cuenta, no sólo la cantidad, sino la calidad física, química y biológica del agua.

La explotación de los acuíferos presenta serios riesgos que deben ser tenidos en cuenta al tratar de establecer las reglas para su uso óptimo. No sólo debe atenderse a una alteración potencial de la dinámica del sistema, sino que también debe considerarse la posibilidad de alteraciones estructurales en el propio funcionamiento del mismo. En este sentido aparecen como los riesgos más importantes:

- Disminución o agotamiento de las reservas del acuífero. Surge cuando la suma acumulada de los saldos netos implica una reducción significativa de su nivel o en caso extremo el agotamiento del agua acumulada. En forma paralela hay que considerar la disminución de la calidad del agua por salinización o degradación. Es conocido el problema que plantea en La Pampa el incremento de flúor o arsénico.

- La propia desaparición del acuífero si, como consecuencia del agotamiento descrito, sus galerías se desmoronan al no contar con el soporte de la presión del agua que anteriormente albergaba, fenómeno conocido con el nombre de subsidencia.

- Ambos riesgos, subsidencia y disminución o agotamiento, tienen implicancias económicas tales como el aumento de los costos de extracción del agua por la

caída del nivel de reserva o la pérdida de valor por la alteración de la calidad del agua.

Ferreiro Chao, en su enfoque, distingue dos formas de explotación del acuífero en función de los derechos que corresponden a los agentes económicos. Esas formas son definidas como de gestión centralizada o descentralizada.

En el caso de la localidad e Quemú Quemú, como en el resto de provincia de La Pampa, en función de la norma legal que declara de propiedad provincial los acuíferos subterráneos y dado que la mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua urbanos son realizados por los municipios, o existe una concesión hacia una cooperativa de usuarios, los derechos corresponden a este único agente económico. Luego, si existe una sola empresa gestora, el modelo es de gestión centralizada.

La extracción de agua necesita de la aplicación de algún factor de producción en cantidad **M**; cuyo precio unitario, también exógeno al sistema, fue definido con la letra **S**. La captación de agua (**E**) por unidad de tiempo depende de la variable de estado y de la fuerza aplicada, luego:

$$\mathbf{E = f\ (M, X)}$$

Entre ambas variables es esperable el siguiente comportamiento:

1) Para un nivel dado de acuífero, la extracción de agua aumento según la aplicación **M** del factor de producción.
2) Los aumentos adicionales de **M** son cada vez menos efectivos (Ley de los rendimientos decrecientes)
3) Para un **M** constante la extracción de agua disminuye en función directa al nivel de profundidad del acuífero.

Para maximizar la expresión anterior debe aplicarse el recurso **M** en cada una de las **N** estaciones de bombeo, hasta que su contribución marginal a los ingresos iguale a la de los costos, como establece el principio económico del equilibrio productivo en una empresa. (Balestri, 1999).

Si bien la lógica del modelo planteado es impecable, existen dificultades para su aplicación. La geometría del acuífero no se conoce con exactitud y existen dudas sobre los cálculos realizados para determinar su capacidad y posibilidades de explotación. Aún con la aplicación de valores lineales como los que surgen de esos supuestos, el intento de optimizar su extracción en función de costos económicos vale la pena, y genera un antecedente válido para completar el modelo cuando se cuente con suficientes datos para su aplicación.

Existe otro elemento que separa nuestro enfoque del planteo realizado por Ferreiro Chao (1992) y está referido al intento de compatibilizar el criterio económico de minimizar costos con el criterio de garantizar a la población una determinada calidad que asegure la salud pública. En este sentido se agregan restricciones particulares al sistema, concebidas a partir de la exigencia de un determinado contenido máximo de flúor y arsénico por unidad de agua.

Finalmente, el objetivo del estudio es optimizar la explotación en un período de tiempo, garantizando una determinada cantidad y calidad de agua al cabo del mismo.

En relación al período de tiempo para el cual se plantea el modelo de optimización, el mismo se ha fijado en cercanías del presente, es decir mientras el consumo de agua no exceda el valor máximo de consumo encontrado. No obstante, mediante el análisis temporal de la serie de consumos mensuales se llevará a cabo una estimación, del tiempo necesario para llegar a una situación de estrés, planteando escenarios futuros a partir del mismo criterio.

En el caso de la localidad de Quemú Quemú, la incorporación de limitaciones productivas en el modelo (límites horarios a la explotación diaria y límites a la cantidad a extraer por día) acerca el mismo, al criterio adoptado por Aguilera Klink (1998), en el sentido de "limitar la extracción y el uso de los recursos hasta un nivel cercano al estándar mínimo de seguridad". El autor propone definir unos estándares físicos para las funciones ambientales del agua basado en sus usos sostenibles, formular indicadores necesarios para definir estándares y, luego, estimar los costos monetarios asociados para alcanzar dichos estándares. Es decir, se trata de aplicar el criterio de mantener las funciones ambientales a un nivel sostenible, aplicando posteriormente un análisis del tipo costo-eficiencia para evaluar la manera menos costosa de alcanzar este nivel.

Tal como sostiene Aguilera Klink (1998), la propuesta recoge la aplicación del principio de precaución al reconocer limitaciones al conocimiento científico y que existe una suficiente base científica para la preocupación, es decir, para tomar decisiones ahora en lugar de esperar a conocer con certeza total una situación que puede ser irreversible. Cabe reconocer también, que no es fácil evaluar los costos mencionados en términos monetarios debido a que las soluciones requieren fundamentalmente cambios sociales, en muchas ocasiones conflictivos que exigen un debate amplio y una negociación política, además de profundos cambios tecnológicos.

3.1.6 La programación lineal como herramienta

En muchas situaciones reales se plantean limitaciones o restricciones, que varían de acuerdo al área analizada. Por ejemplo, en el campo industrial se presenta el problema de contar con una existencia fija de materia prima almacenada, que entra en la fabricación de varios productos. Esto constituye una restricción, ya que limita la cantidad de cada producto a elaborar, sobre todo teniendo en cuenta que el incremento de uno ocasionará la disminución de otros.

Las relaciones existentes entre los diferentes productos que emplean los mismos recursos, pueden ser lineales o no. Cuando a las relaciones se las establece en forma lineal quedan definidas por ecuaciones y desigualdades de primer grado.

Además cada producto genera una cierta ganancia o involucra un determinado costo. Su logro, de una forma máxima o mínima según el caso, define el problema; que resulta posible resolver mediante una técnica conocida como programación lineal.

Para poder aplicarla es necesario que se cumplan las tres condiciones siguientes:

a) La existencia de ciertas restricciones que hacen que los productos compitan entre sí o cumplan con determinadas condiciones. Las variables en cuestión deben cumplir indefectiblemente la condición de ser no negativos.
b) Relaciones lineales entre las variables intervinientes.
c) Optimización de la función económica del conjunto de productos, que establece que se deben maximizar los beneficios o minimizar los costos

Mocholí Arce y Sala Garrido (1984), traducen lo escrito a relaciones matemáticas. De este modo, un problema de optimización queda definido por:

a) Las variables del problema, que reciben el nombre de variables instrumentales. Se describen por x_i o por el vector X.
b) La función objetivo F (X), que es la descripción en términos matemáticos del objetivo final a conseguir.
c) El conjunto de oportunidades K, o conjunto de los valores que satisfacen todas las condiciones del problema que se trata de resolver. Es decir, las ecuaciones de restricción.

Dentro de los problemas de optimización algunos pueden ser resueltos por programación lineal, que se caracteriza por:

a) La función objetivo es lineal.
b) Las condiciones o restricciones del problema también son lineales.

c) Las variables instrumentales han de tomar necesariamente valores mayores o iguales a cero. Se trata de la condición de la no negatividad.

Para la resolución de un problema de este tipo es necesario primero definir "el conjunto de oportunidades K", que queda definido por la intersección de las restricciones que al ser desigualdades lineales delimitan semi espacios cerrados. Si K es un poliedro, la solución óptima puede ser única (solución de vértice), o puede tener infinitas soluciones (solución de arista o de cara). Caso de no ser vacío, recibe el nombre de politopo y, si está acotado, se llama poliedro". (Mocholí et al, 1984).

Desde ese punto de vista puede definirse como solución factible de un problema de programación lineal a cualquier vector que satisfaga las restricciones planteadas. Por lo tanto debe estar contenido dentro del conjunto convexo de oportunidades. La solución factible óptima es aquel o aquellos vectores admisibles para los que la función objetivo alcanza el óptimo (máximo o menor valor). Cabe distinguir:

Luego, la tarea de resolver un problema de programación lineal es ir buscando la solución óptima entre las soluciones básicas. El desarrollo de la informática ha permitido acceder a programas de rápida solución a este tipo de problema, que transformaron una herramienta de difícil cálculo en algo muy simple y de aplicación rutinaria.

Sin entrar en la búsqueda de programas muy sofisticados, SOLVER, la planilla de cálculo de Microsoft, constituye un complemento de Excel que permite resolver este tipo de problemas.

Según lo informado por los proveedores Microsoft Excel SOLVER utiliza el código de optimización no lineal desarrollado por la Universidad León Ladson de Austin (Texas) y la Universidad Allan Waren (Cleveland).

SOLVER, resuelve no sólo problemas lineales, sino también no lineales. El proceso de solución consiste en pruebas sucesivas o iteraciones. Durante cada iteración, el programa utiliza un conjunto nuevo de valores de celdas cambiantes para volver a calcular la hora, y examina las restricciones y los valores de celda óptima. El proceso se detiene cuando encuentra una solución de precisión satisfactoria, cuando ya no es posible avanzar o cuando alcanza el tiempo máximo permitido o el número máximo de iteraciones.

Para cada solución, SOLVER puede brindar tres tipos de informes: el de respuestas, el de sensibilidad y el de límites. El informe de respuestas permite conocer la solución para la celda objetivo (resultado final de la solución), las celdas cambiantes

con los valores originales y los valores finales, las restricciones y la información sobre el cumplimiento de las mismas.

SOLVER, una vez realizado su trabajo, puede brindar tres tipos de respuestas.

Puede que informe que ha hallado una solución. En este caso se han satisfecho todas las restricciones y condiciones óptimas dentro de las configuraciones de precisión y tolerancia de enteros, y se ha encontrado un valor máximo o mínimo para la celda objetivo.

Si la información brindada dice “Solver ha llegado a esta solución” significa que se cumplieron las restricciones, sólo que en este caso el valor de la celda objetivo ha permanecido prácticamente intacto en las últimas cinco soluciones de prueba. Es posible que sea una solución, pero también resulta factible que el proceso iterativo progrese muy lentamente y falte mucho para encontrar una solución.

Puede que SOLVER informe que no existe solución, situación que requiere mayores explicaciones.

No obstante, la rapidez y la seguridad en el cálculo y la facilidad con que se tiene disponible la herramienta informática hacen imprescindible su uso.

3.2 El Estudio de las Series de Tiempo

3.2.1 Conceptos Fundamentales

La idea básica de una serie de tiempo es muy simple y consiste en el registro de cualquier cantidad fluctuante medida en diferentes puntos del tiempo. La característica común de todos los registros que pertenecen al dominio de las “series de tiempo” es que aquellos están influenciados, aunque sea parcialmente, por fuentes de variación aleatoria. Entonces, si lo que deseamos es, explicar la estructura de las fluctuaciones en un período de tiempo en particular, debemos recurrir a lo que llamamos el *estudio de las series de tiempo*.

Hay dos aspectos en el estudio de dichas series: el análisis y el modelado. El objetivo del análisis es resumir las propiedades de una serie y remarcar sus características salientes. Esto puede hacerse ya sea en el dominio del tiempo o en el dominio de las frecuencias. En el dominio del tiempo se concentra la atención en las relaciones entre las observaciones en puntos diferentes del tiempo, mientras que en el

dominio de las frecuencias son los movimientos con diferentes periodicidades los que se estudian. Estas dos formas de análisis no son competitivas, muy por el contrario son complementarias. La misma información es procesada en diferentes formas, dando distintas visiones de la naturaleza de la serie de tiempo.

La principal razón para modelar una serie de tiempo es para permitir la predicción de sus valores futuros. La característica distintiva de un modelo de serie de tiempo, opuesto a un modelo econométrico de serie de tiempo, es que no se realiza ningún intento para formular una relación de comportamiento entre la serie de tiempo considerada y otras variables. Los movimientos de la serie son explicados solamente en términos de su propio pasado, o por su posición en relación al tiempo. Las predicciones se las realiza mediante extrapolación. (Abril, 2004).

Evidentemente aunque el valor futuro de una serie temporal no sea predecible con total exactitud, para que tenga interés su estudio, el resultado tampoco puede ser completamente aleatorio, existiendo alguna regularidad en cuanto a su comportamiento en el tiempo, lo que hará posible su modelado y por ende, en su caso la predicción. La búsqueda de regularidades y de patrones ha sido siempre una de las tareas básicas de la ciencia y muchas veces se descubren simetrías que sirven de fundamento para la predicción del comportamiento de los fenómenos, incluso antes de que se entienda la razón o causa que justifica es regularidad.

Por lo tanto, si podemos encontrar patrones de regularidad en diferentes secciones de una serie temporal podremos también describirlas mediante modelos basados en distribuciones de probabilidad. La secuencia ordenada de variables aleatorias X(t) y su distribución de probabilidad asociada, se denomina *proceso estocástico*. Un proceso de tal tipo, es entonces el modelo matemático para una serie temporal. (Molinero, 2004).

Matemáticamente, un proceso estocástico es una colección o sucesión infinita de variables aleatorias ordenadas en el tiempo y definidas en un conjunto de puntos temporales el cual puede ser continuo o discreto. (Abril, 2004).

Una primera distinción relativa a una serie temporal, se refiere a los datos.

Se dice que una serie temporal es *continua*, cuando las observaciones son tomadas continuadamente en el tiempo, y es simbolizada por Y (t). No obstante la mayoría de las series temporales, están formadas por observaciones registradas en intervalos predeterminados y de igual longitud.

En este caso los datos o valores, forman una serie temporal discreta simbolizada por Y_t:

$$Y_1, Y_2, Y_3, \ldots, Y_{t-1}, Y_t$$

Nuestro objetivo en la descripción de series temporales, se centra exclusivamente en el estudio de series de tipo discretas y con intervalos igualmente espaciados.

Otro concepto que debe ser objeto de clarificación, es el relativo a la distinción entre *proceso* y *realización.* Una serie temporal observada o empírica *(Y_t, t = 1,2,…n)* se caracteriza por la realización de algún proceso estocástico subyacente (que se le supone generador de la serie). En este contexto, la relación entre realización y proceso estocástico (o modelo teórico), es análoga, a la relación común, en estadística clásica, entre muestra y población.

El objetivo básico en el análisis de las series temporales consiste en obtener inferencias, sobre las propiedades o características fundamentales de los procesos estocásticos subyacentes, a partir de la información que se obtiene de la serie empírica u observada. De este modo la realización o serie temporal observada es el instrumento o medio para construir el modelo del que esperamos posea propiedades similares a las del mecanismo generador de la serie (o proceso estocástico subyacente).

En consecuencia la tarea de modelar una serie, se halla integrada por dos etapas fundamentales:

a) Determinación del modelo apropiado a la serie (y que por tanto, la explica mejor).

b) Estimación de los valores paramétricos del modelo (Arnau Grass, 2001)

3.2.2 Enfoque Clásico

Una función del tiempo es una relación en la cual entra una unidad de tiempo y sale el valor correspondiente a la serie con un cierto margen de error. Según el enfoque determinista clásico, éste margen de error es producto de la existencia de una perturbación aleatoria imposible de modelar. Esta perturbación se interpreta como errores, debidos a las imperfecciones en la observación, recopilación y transmisión presentes en cualquier sistema de medición, registro y notificación sobre el estado de una variable. (Armando Aguirre 1994).

Dichas perturbaciones son consideradas como una componente irregular, y tratadas como una variable aleatoria con ciertas características adecuadas al fenómeno que da origen a la serie de tiempo bajo estudio. (Abril 2004). No obstante existen otras componentes relevantes dentro del modelo, tales como la tendencia, estacionalidad y ciclo.

La tendencia es una componente que cambia suavemente en el tiempo, pero con mayor generalidad se puede pensar que es un proceso estocástico que varía en forma suave con el tiempo.

Muchas series están influenciadas por factores estacionales variables tales como el clima, el efecto de los cuales puede ser modelado por medio de un componente periódico con periodo fijo y conocido. La estacionalidad también se la trata como una función determinística del tiempo, pero con argumentos similares a los dados para la tendencia, se puede pensar que es aleatoria.

El ciclo es una componente periódico de baja frecuencia. En realidad, es una componente cuya frecuencia es superior a la de la tendencia pero sustancialmente inferior a la de la estacionalidad. (Abril 2004).

3.2.3 Descomposición de las Series Temporales

El estudio de una serie temporal implica la búsqueda de patrones o regularidades parciales del movimiento presentado por la variable en la serie, se suelen denominar "componentes", "descriptores" o "determinantes" y son:

a) La ***tendencia*** ***(T_t).*** Movimiento o dirección de la variable en períodos prolongados de tiempo.

b) La ***estacionalidad*** ***(E_t).*** Fluctuaciones periódicas de la variable, mas o menos regulares, en períodos relativamente cortos de tiempo, con una oscilación repetitiva para lapsos de tiempo contiguos.

c) El ***ciclo*** ***(C_t)***. Movimientos de la variables similares a la estacionalidad, pero relativos a períodos de tiempo mucho más prolongados. Sólo es posible encontrar este componente, de existir, en series, suficientemente largar (por lo menos 10 años).

d) ***Aleatoriedad*** ***(a_t).*** Es el movimiento irregular de la variable, determinada por el azar, impredecible de forma determinística. Cuando en una serie de detectan y extraen las componentes de tendencia, estacionalidad y ciclo, sólo debe quedar la componente aleatoria. Por ello a esta componente se la denomina también "residuo aleatorio" o "ruido". Con esta componente no modelable, se calcula el error de estimación. (Armando Aguirre, 1994).

El enfoque clásico considera imprescindible el comportamiento de la componente aleatoria. Hasta tanto se demuestre que la serie no es completamente aleatoria, es

considerada como una “secuencia temporal”. Por ende el primer paso en la modelación clásica, consiste en verificar si la secuencia es una serie, o sea, si la variable no es completamente aleatoria, y puede entonces ser tratada de forma determinística. En caso de una serie completamente aleatoria, la modelación clásica no cuenta con medios para su tratamiento. La secuencia de valores observados en la variables, es considerada entonces, como un ruido, para el cual no se posible, encontrar una función ***f***, capaz de regir su comportamiento en dependencia del tiempo.

Si se muestra la no aleatoriedad de la secuencia, ésta es declarada como una serie temporal propiamente dicha. Se infiere de ello estar presente en la serie, al menos, una de las componentes (tendencia, estacionalidad o ciclo). Con ayuda de diferentes técnicas, se detectan, y extraen estas componentes por separado. (Peña et al, 1997)

Cada componente detectado en la serie, es modelado por separado. Una vez estimadas las expresiones analíticas más apropiadas para cada una, la función ***f***, modelo general o englobador de todos los componentes, se construye como una composición de los modelos particulares para cada componente. La composición se suele hacer según dos tipos principales:

- ***Composición Aditiva***. Los modelos de cada componente se suman entre sí, para conformar la función ***f***.

  Así $T_t + E_t + C_t$.
- ***Composición Multiplicativa***. Los modelos de cada componente se suman entre sí, para conformar la función ***f***.

  Así $T_t * E_t * C_t$.

El tipo de composición más utilizado es comúnmente el aditivo. Una vez obtenida la función f, los valores de la serie se estiman, con propósitos de reproducción de valores de la variable en la serie (descripción) o extrapolación de valores futuros (pronósticos) con la ayuda de esta función.

En forma abreviada $f(t) = (T_t * E_t * C_t) \pm \xi_t$, donde * indica el tipo de composición. El error se estima a partir del componente aleatorio α_t. (Peña, 1997).

Resumiendo, las etapas generales de la modelación clásica, son las siguientes:

a) Comprobar si la secuencia temporal es una serie.

b) Si no lo es, finaliza el tratamiento. Caso contrario, detectar la presencia de los componentes de tendencia, estacionalidad y ciclo. Buscar, en el segundo caso, para las componentes detectadas, los modelos más apropiados.

c) Relacionar los modelos de componentes, utilizando la composición más conveniente para construir ***f***.

d) Estimar el error ξ_t, a partir del residuo aleatorio α_t, para construir el intervalo de confianza de f (t) para cada t.

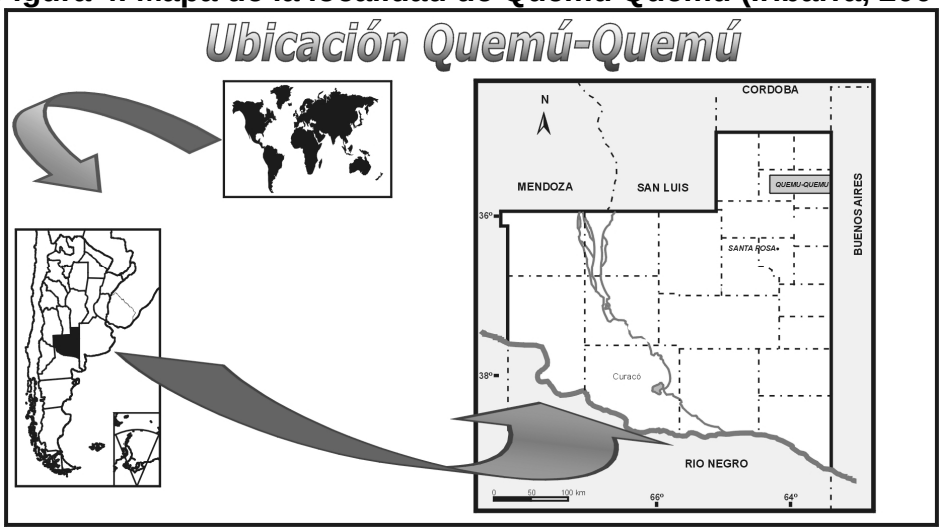
e) Con el modelo obtenido describir o pronosticar, los valores de la variable en la serie: z = f (t).

Capítulo 4: Caracterización del Área de Estudio

4.1 Descripción del Area de Estudio

La localidad de Quemú Quemú, (Figura 1) está ubicada en el noreste de la Provincia de La Pampa, que constituye la cabecera del Departamento que lleva su nombre, ésta abarca una superficie de 10,5 Km², cuyo punto central aproximado (plaza principal de la localidad) posee las siguientes coordenadas: 36º03'20'' de latitud Sur y 63º33'55'' longitud Oeste.

Figura 4. Mapa de la localidad de Quemú Quemú (Iribarra, 2004



Por vía terrestre la localidad está comunicada con el resto del país por la Ruta Provincial N°1, la cual empalma con las rutas naci onales N°5, hacia el sur, y N°188, hacia el norte, y se encuentra a 130 km de Santa Rosa, capital de la provincia de La Pampa.

La localidad de Quemú Quemú cuenta con 4.500 habitantes aproximadamente, constituyéndose en uno de los pueblos más importantes de la zona. De acuerdo con las estadísticas, la población se incrementa a razón de 900 personas cada diez años (Schulz, 1997).

El área en estudio está inserta en una provincia cuya economía depende en gran parte del sector primario (Agrícola y Ganadero). El Departamento se caracteriza por contar principalmente, con sistemas ganaderos o ganaderos-agrícolas de producción con preponderancia de cultivos forrajeros anuales y perennes, aunque existen áreas menores mayoritariamente agrícolas.

4.2 Características del servicio de agua potable

La red de agua potable en la localidad de Quemú-Quemú es uno de los primeros servicios de la Provincia de La Pampa; este sistema consiste en dispositivos de extracción, conducción y distribución de agua subterránea que fue proyectada por el Ing. Carlos Oppezzo en 1966 y construido por el estado provincial, luego fue concesionado por medio de un convenio a la Cooperativa de usuarios (COSYPRO) quien a partir de entonces se encarga del funcionamiento y mantenimiento, realizando sucesivas modificaciones y ampliaciones de la red de distribución, como así también reemplazando pozos de producción e incorporando nuevos. En la actualidad se cuenta con 14 pozos de extracción, 9 de los cuales se encuentran en producción y los restantes 5 están fuera de servicio dado que el agua fue desmejorando su calidad y por ende su aptitud para el consumo humano (Ver Tabla 1) **(**Iribarra, 2004)

La captación del agua se realiza mediante la explotación del acuífero que abarca una superficie de 216 km². Si bien el área acuífera es extensa, la producción de agua potable, mediante pozos de explotación, se circunscribe a un sector de 5 km², ubicado en las inmediaciones de la localidad, este sector aloja una reserva de agua cuantitativamente significativa y de buena calidad para el consumo humano (Schulz, 1997).

Una vez captada por los pozos, el agua es bombeada a una cisterna que tiene una capacidad de 360 mil litros y posee dos bombas elevadoras que conducen el fluido a un tanque elevado. Este tanque tiene una capacidad de 100 mil litros y la finalidad es darle presión a la red, ya que desde aquí se distribuye el agua potable a la población.

La Cooperativa realiza el control de la calidad del agua en sus distintas etapas. Cada tres meses se realizan análisis físico-químicos y bacteriológicos en cada uno de los pozos de extracción, en la salida del tanque elevado y en terminales de la red de distribución.

El servicio de agua potable de la Cooperativa atiende en la actualidad un total de 1420 conexiones domiciliarias, lo que implica un 95% del total de la población. Sólo en 578, un 40,7% del total, se produce el cobro de acuerdo al consumo domiciliario excedente a los 9 m³/mes. El resto, abona un cargo fijo independientemente de lo que consuma, lo que trae aparejado grandes excesos, fundamentalmente en épocas de elevada temperatura (Schulz, 1997).

Tabla 1. Detalles de Perforaciones y sus Características

Perforación	Q teórico (m3/h)	Hs de Bombeo	KW/h	Marca	HP	F en pozo	As en pozo
Bomba 4	6,5	15	1,8	Franklin Electric	3	3,24	0,15
Bomba 6	8,98	15	1,8	Franklin Electric	3	0,94	0,07
Bomba 7	13,61	17,5	1,8	Franklin Electric	3	1,38	0,055
Bomba 9	4,8	17,5	0,9	Franklin Electric	1,5	1,34	0,0725
Bomba 10	12,83	20,5	1,2	Franklin Electric	2	1,37	0,49
Bomba 11	12	20	1,8	Franklin Electric	3	1,7	0,097
Bomba 12	9,34	7	1,2	Franklin Electric	2	1,25	0,04
Bomba 13	11,66	15	1,2	Franklin Electric	2	1,23	0,024
Bomba 14	14,77	15	1,2	Franklin Electric	2	1,65	0,045

4.3 Climatología

El clima es uno de los factores que más influye en el modelado del paisaje, en las características del suelo, la fisonomía de la vegetación y el potencial de la región, esta acción puede ser física, química o biológica; el conocimiento del clima es fundamental para la toma de decisión de los planteos de desarrollo de un área.

Temperatura. La localidad de Quemú Quemú está comprendida en la denominada "Región Hídrica Subhúmeda Seca" (Cano et al, 1980). El clima es templado con una temperatura media anual de 15 ℃, siendo la máxima media de 22,7℃ para el mes de enero y lo que respecta el mes de julio la mínima media es 8,9℃ correspondientes al período 1961-2000. (Estación Experimental Agropecuaria Anguil). Debido a la carencia de datos de la localidad, se tuvieron en cuenta las temperaturas del campo anexo del INTA de General Pico, ya que por su proximidad no es esperable una variación significativa. (Iribarra, 2004)

Vientos. Los vientos predominantes son del N-NE y S-SO. Esta circulación de las masas de aire corresponde al accionar de dos anticiclones que la gobiernan. En General Pico alcanzan una velocidad promedio anual de 14 km/h. Esta subregión es la más susceptible a la erosión eólica, fundamentalmente por el tipo de suelo y por las características de las explotaciones rurales (alto porcentaje de agricultura de cosecha). El período de mayor intensidad de los vientos se extiende desde Septiembre a Diciembre.

Precipitaciones. La pluviometría media anual para Quemú-Quemú correspondiente al período 1921-2004 es de 737,95mm. La estación más seca es el invierno y por el contrario el período más húmedo es primavera y verano.

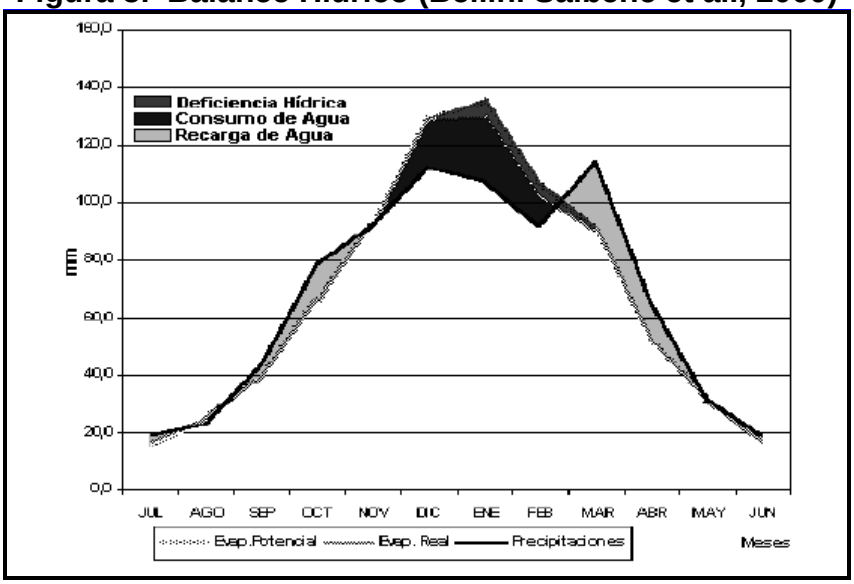
Durante los últimos 30 años, las precipitaciones se han incrementado en 250 mm anuales respecto a la media observada durante el periodo 1921-1970, superando a la

evapotranspiración y generando un incremento en el almacenamiento superficial y subsuperficial de la región (Jensen et al., 2000).

Ese nuevo escenario hidrológico comienza generando lagunas en correspondencia con las depresiones locales. El nivel de estos cuerpos aumenta progresivamente hasta llegar a una cota tal que el agua desborda hacia las depresiones vecinas, generando una descarga hacia aguas abajo que se conoce como “desborde de bajos”. En el área de estudio el agua se acumula en la depresión topográfica natural ubicada en dirección oeste-sudoeste de la localidad de Quemú-Quemú (Jensen et al., 2000).

La figura 5 muestra los resultados de un balance mensual realizado en la localidad de General Pico (Bellini Saibene et al., 2000). La metodología de resolución es la propuesta por Thornthwaite y Mather (1955), el intervalo de aplicación (1961-1998) fue seleccionado por ser el de mayor aporte de agua de este siglo (Jensen et al., 2000) y el valor máximo de almacenaje de agua (capacidad de campo) se fijó en 200 mm.

Figura 5. Balance Hídrico (Bellini Saibene et al., 2000)

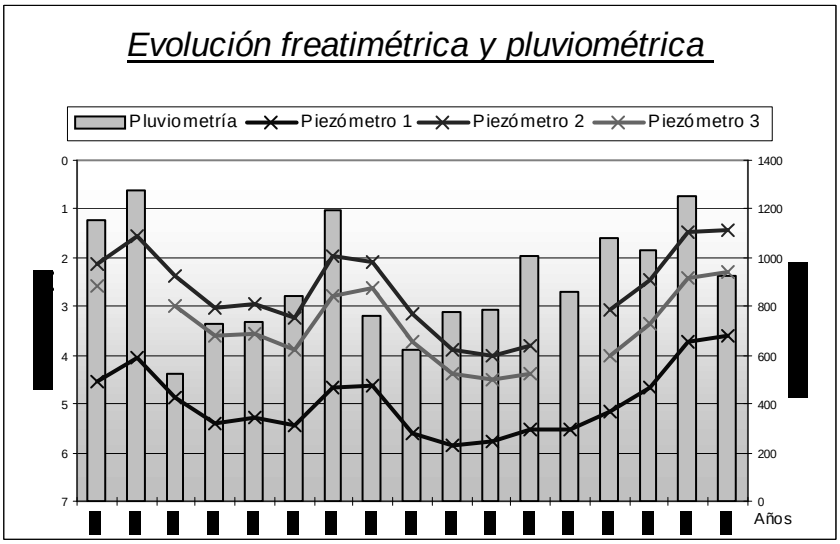


Del análisis de la figura 5 surge que existen dos períodos de almacenamiento de agua en el suelo. Uno de ellos se da entre septiembre y mediado de noviembre mientras que el comprendido entre el mes de marzo y mayo, es el más importante.

Por las condiciones geológicas, la mayor tasa de recarga es captada en las zonas elevadas (médanos) y la descarga se produce en las depresiones, evidenciada periódicamente por la presencia de importantes espejos de agua producto del incremento pluviométrico de los últimos 15 años. La profundidad del nivel freático determinada en 3 freatímetros existentes oscila actualmente entre 1 y 3,3 metros de profundidad. (Arroyo, 2005)

Un registro histórico (1986/2002) de cada uno de los pozos (Figura 6) muestra una fluctuación máxima del orden de 2 metros, dentro de un rango de profundidad que va de 1,50 metros (piezómetro 2) a casi 6 m.b.b.p (piezómetro 1).

Figura 6. Variación del nivel freático y su relación con las precipitaciones (Iribarra, 2004)



En la figura se puede observar lo siguiente:

- Las fluctuaciones del nivel freático son similares en los tres piezómetros, dichas variaciones dependen de la magnitud de las precipitaciones.

- Los períodos de ascensos se registran durante 1987, entre mediados de 1991 hasta 1993 y desde comienzos de 1998 hasta el 2002. Estos episodios se corresponden con años donde las precipitaciones superan los 1000 mm anuales.

- Los mayores descensos se producen desde finales de 1987 hasta 1991 y desde 1993 hasta comienzos de 1995, debido a las bajas precipitaciones que no superan los 800 mm anuales, como consecuencia de esto la cantidad de agua que llega al acuífero es menor que en otros periodos, lo que produce un descenso en el nivel freático.

- Luego se registra un lapso que abarca lo que resta de año 1995 hasta la mitad del año 1998, en el cual el nivel freático se mantiene constante. (Iribarra, 2004)

4.4 Suelos

Desde el punto de vista edafológico (Cano et al, 1980), el área de estudio está ubicada dentro de la Unidad Cartográfica denominada “Planicie medanosa ondulada”. Los suelos se han clasificado como: “Haplustoles énticos, familia arenosa, mixta, térmica”, estimándose en 80% de la superficie de la Unidad; y “Ustipsamment típico, familia silícea, térmica” el resto. Ambos tiene poca evolución genética y su material parental son arenas con textura franca-arenosa fina de deposición reciente, que poseen buen drenaje. Otros suelos incluidos en el sector, son los que se encuentran en los bajos, con tenores variables de sales (Cano et al, 1980).

El suelo superficial (capa arable) tiene buen espesor con alto contenido de materia orgánica, reuniendo las exigencias de epipedón mólico. Los suelos de la planicie con tosca tienen permeabilidad rápida, son excesivamente drenados y están asociados a médanos más o menos planos y estabilizados, que en su mayoría se aran. No hay diferencia entre las cúspides y los bajos de las ondulaciones de este relieve en cuanto desarrollo genético y características morfológicas del perfil.

Las limitaciones de estos suelos son las que derivan de la textura del material parental y del clima, tales como la baja capacidad de retención de la humedad, sequías estacionales y erosión eólica atribuída al laboreo y pastoreo excesivos.

La vegetación principal es la cultivada y está asociada con vegetación natural representada por comunidades halófitas en la zona de las lagunas y sammófilas en las áreas medanosas no cultivadas (Cano et al, 1980).

La zona comprendida dentro del clima subhúmedo seco presenta la posibilidad de practicar agricultura de secano, pero bajo un sistema de manejo de suelo que favorezca la conservación del agua.

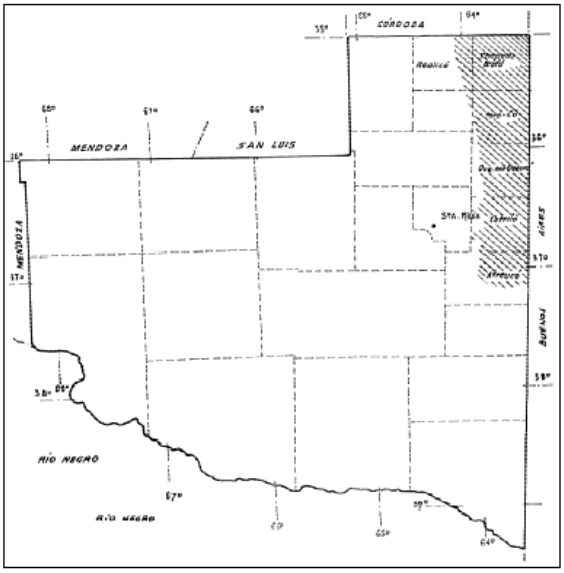
La elección de los cultivos esta restringida, siendo moderados los riesgos de disminución de los rendimientos o pérdidas de cosecha por sequía.

La agricultura frecuentemente alterna con la explotación ganadera intensiva, basadas en pasturas artificiales como alfalfa, sorgo, centeno, cebada, avena, agropiro, trébol de olor, cebadilla, etc., y en menor escala sobre pasturas naturales. Una especie que adquirió gran importancia y difusión para hacienda de cría y como excelente recurso para fijar suelos erosionables, es el pasto llorón.

4.5 Geomorfología.

La región en estudio (Figura 7) se encuentra comprendida en la “Subregión de las Planicies Medanosas” (Cano et al, 1980), o en la “Llanura Pampeana de Modelado Eólico Superimpuesto” (Calmes, 1996). Los procesos morfogénicos que actuaron en esta subregión, fueron fundamentalmente hídricos (de escurrimiento difuso) y eólicos (de acumulación-deflación). Los primeros elaboraron una superficie calcárea con pendiente regional al Este, sobre ella el viento acumuló un manto arenoso de espesor variable. El dominio se compone de campos de médanos (sin orientación preferencial) y llanuras arenosas. La sucesión de éstos se da cada tres o cuatro km, sin presentar límites claros. Los médanos son en su mayoría fijos, aunque es posible encontrar algunos vivos. En las posiciones más deprimidas se encuentran cubetas de deflación o depresiones y sectores plano-cóncavos o cóncavos que colectan las aguas de lluvias y a su vez constituyen áreas de descarga. Los espesores del manto arenoso varían entre 3 y 15 metros.

Figura 7. Ubicación geográfica de la subregión de las planicies medanosas. (Cano et al., 1980)



Geología. La columna estratigráfica consiste en una capa arenosa superficial de origen eólico, que podría asignarse al Holoceno y cuyo espesor es variable desde 15 metros en las zonas medanosas hasta 2 o 3 metros en las depresiones, constituida por arenas finas con abundante vidrio volcánico en la parte superior y por arenas gruesas a medianas, en parte sabulíticas, hacia la base de la secuencia (Malán, 1983). La capa arenosa eólica corresponde a una unidad morfosedimentaria que cubre algo más de la cuarta parte del territorio provincial (Calmes, 1996) y formaría parte del denominado “Mar de Arena Pampeano” (Iriondo, 1993). Por debajo los sedimentos están reemplazados por una capa de materiales cementada por carbonato de calcio (tosca), que llega a tener dos metros de espesor. Subyacen a esta capa los sedimentos loéssicos de la Formación

Cerro Azul (Linares et al, 1980) de edad Huayqueriense (Mioceno superior). Dicha edad se la asigna Goin et al., (2000) a los niveles portadores de marsupiales fósiles. Esta formación está constituida en sus niveles superiores por arenas muy finas y limosas y hacia la base la granulometría se vuelve más limosa hasta limo-arcillosa, lo que determina una fuerte anisotropía vertical. La depositación de dicha secuencia sedimentaria comenzó con depósitos lacustres, por encima se acumularon los sedimentos continentales de origen eólico y finalmente en los niveles superiores se desarrollan algunos cursos fluviales (Visconti et al., 1996).

Entre las denominaciones informales más conocidas que recibió esta formación cabe citar las de “Formación Pampeano” (Stappenbeck, 1926, Salso, 1966) y “Formación Pampa” (Giai, 1975).

4.6 Hidrogeología

Desde el punto de vista hidrogeológico resultan más relevantes los dos niveles superiores, por ser portadores del acuífero estudiado.

La columna geológica del lugar, remitida a sus términos superiores, esquemáticamente consiste en una capa arenosa superficial con variable desarrollo vertical, que oscila entre los 3 y 15 metros, conformada por sedimentos de evidente origen eólico, sueltos, algo cementados por carbonato de calcio hacia la base, que podría correlacionarse con la llamada formación Junín de la provincia de Buenos Aires. Por su granulometría y escaso grado de consolidación constituye un buen terreno acuífero a la vez que actúa como elemento de captación y almacenamiento importante de los excedentes hídricos. Por debajo aparece una capa que se caracteriza por presentar una granulometría más fina constituida por arenas finas a limosas con intercalaciones limoarcillosas que otorgan a la columna hidroestatigráfica un carácter predominantemente acuitardo.

Ambas secciones conforman, cuando están saturadas, un acuífero multiunitario, ya que entre ellas no hay niveles menos permeables, que hidráulicamente se comporta como libre con drenaje diferido.

Los parámetros hidráulicos del acuífero alojado en la Formación Cerro Azul fueron determinados en la mayoría de los casos por ensayos de recuperación en pozos de bombeo. Para el primer tramo del acuífero ensayado (hasta 18 metros de profundidad) la transmisividad osciló entre 94 y 204 m²/día, en tanto que para una profundidad de 26 metros el valor medio alcanzaría a 200 m²/día. (Malán et al., 1988).

4.7 Hidroquímica

El agua subterránea adquiere su composición química de una variedad de fuentes, aumentando la disolución y suspensión de constituyentes, por contacto con gases, líquidos y sólidos que encuentra durante el pasaje del ciclo hidrológico. Desde que desciende y entra en contacto con el suelo y subsuelo, interacciona determinando distintos ambientes geoquímicos en los que se encuentran los elementos que la constituyen (Galindo et al, 1999).

La lluvia local representa la única fuente de entrada de agua al sistema acuífero aquí considerado. Su composición, conjuntamente con el polvo atmosférico caracterizarán el agua de infiltración. Su consideración adquiere mayor relevancia si se tienen en cuenta además los efectos de la disolución y lixiviación en el perfil no saturado, además de una recarga directa debido a la existencia de una cubierta arenosa de significativa importancia. Esta investigación considera que la presencia de iones NO^{3-} que exceden los límites de potabilidad será pura y exclusivamente de origen antrópico. (Iribarra, 2004)

Las características hidroquímicas del acuífero pueden representarse a través de muestras de 9 pozos que integran la batería de producción de la COSYPRO, obtenidas durante el período 1997-2010. En la Tabla 2, se resumen los valores medios. A partir de estos datos podemos inferir que:

Tabla 2. Valores medios de la composición química de 11 pozos de abastecimiento de Quemu Quemu correspondiente al periodo 1997-2010 y promedios generales del grupo de pozos considerados

POZOS	Residuo Seco	Conduct.	ph	cl-	so4--	alcal.	CO3H-	dureza	Na+	Ca++	Mg++	Fe+3	No3-	No2-	F-	As
	mg/l	umho/cm		Mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4	633,56	891,6	8,55	24,44	40,48	440,24	410,64	78,24	184	13,36	10,93	0,01	14,16	0,001	3,18	0,14
6	348,27	494,96	8,09	6,92	20,41	230,23	229,61	111,15	69	26	12,05	0,01	12,74	0,001	0,94	0,07
7	486,6	678,8	8,06	19,5	24,62	320,1	336,3	113,7	S/D	19,55	15,70	1,20	16,88	0,001	1,20	0,04
9	420,72	517,36	8,23	12,46	13,89	275,38	269,23	119,09	S/D	20,45	16,48	0,095	16,36	0,008	1,20	0.04
10	444,78	563,11	8,25	14,31	21,25	266,15	260,23	106,64	92	17,83	15,23	0,01	18,36	0,001	1,37	0.04
11	474,65	627,5	8,22	14,4	17,08	321,4	311,8	107,1	80,5	19,15	13,68	0,01	15,41	0,01	1,72	0,07
12	343,28	521,64	8,24	12,86	13,52	261,57	260	123,57	57,5	21,93	15,62	0,01	18,35	0,01	1,25	0,04
13	326	429	8,28	11,5	17,82	168	168	145	23	29,5	17,25	S/D	36,95	0,012	1,21	0,04
14	304	433,67	8,18	13	22,4	161	161	130	23	26,5	15,55	S/D	34,73	0,01	1,34	0,04
media	445,31	622,76	8,28	17,33	25,11	294,79	287,29	108,81	94,87	20,31	14,03	0,43	19,35	0,008	1,66	0,06

Según estudios realizados (Schulz, 1997) en general las áreas de recarga se caracterizan por valores de salinidad entre 300 y 1000 mg/l, de dureza entre 70 y 200 mg/l, de cloruro de 8 a 100 mg/l y de flúor 0,9 a 3 mg/l.

El agua subterránea de mejor calidad se encuentra en el Noreste y Oeste de la localidad que corresponde al área de recarga del acuífero.

En las áreas de descarga, principalmente en la región Suroeste de la localidad se produce un incremento de la salinidad, también se nota un pequeño aumento en la dureza.

Verticalmente, hasta aproximadamente los 26 metros de profundidad, los valores de flúor son adecuados para el consumo humano, pero por debajo de esta profundidad las concentraciones aumentan, sucediendo lo mismo con los tenores de arsénico y salinidad

De acuerdo a lo expresado por personal técnico de COSYPRO en una de las entrevistas efectuadas a la Ing. Silvia Farchetto, el flúor y el arsénico serían los elementos que mayormente estarían afectando la calidad del agua subterránea en el área de estudio. Por tal motivo y a juzgar por las concentraciones observadas en algunos de los pozos de abastecimiento, se analizó el comportamiento de flúor y arsénico, pudiéndose constatar en ambos casos una variación estacional que se manifiesta como una constante en el historial de cada pozo y se repite en la mayoría de las perforaciones de las que se poseen registros. Las figuras 5 y 6 representan un ejemplo de lo comentado, los gráficos pertenecientes a los pozos restantes, se exhiben en el Anexo.

Fig. 5. Evolución temporal de los niveles de arsénico

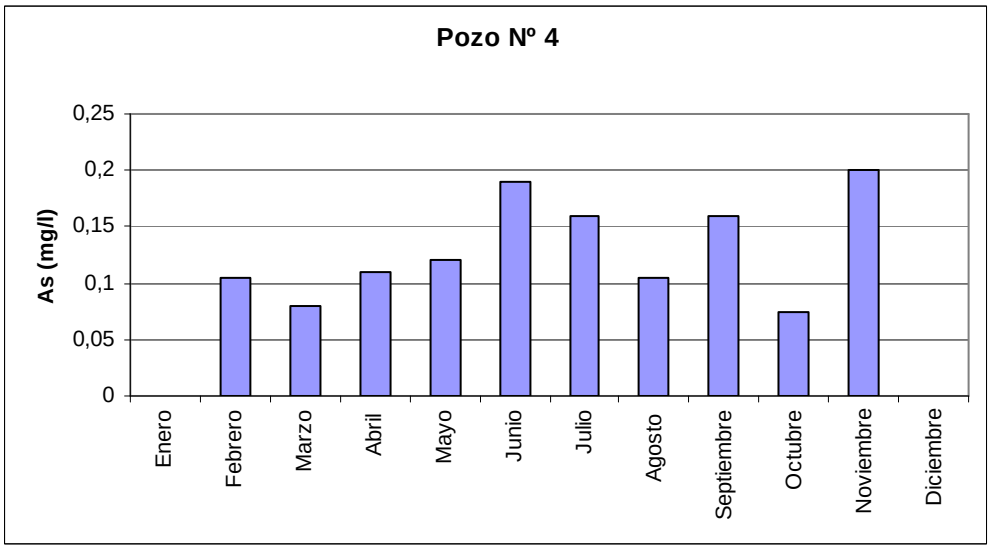
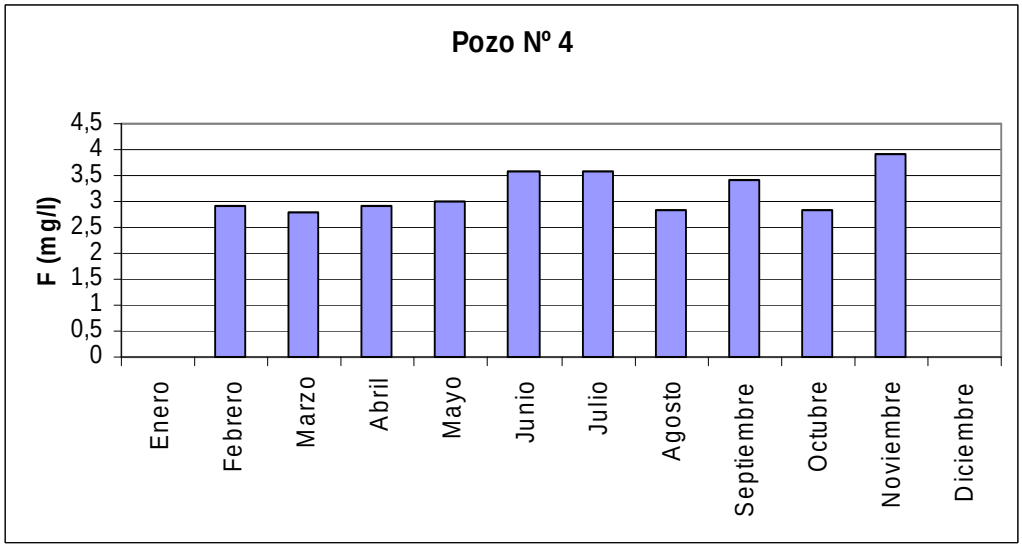
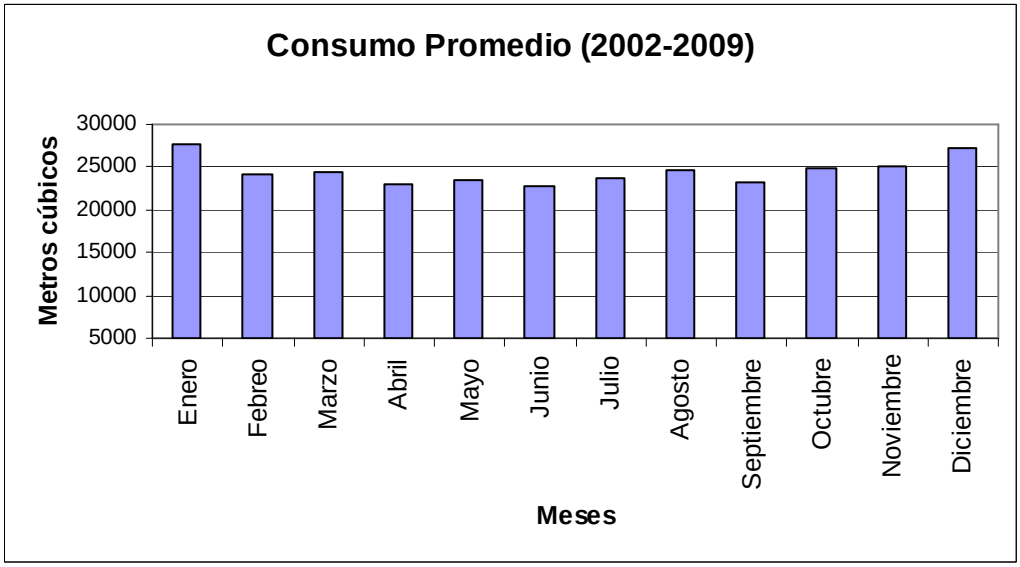


Fig. 6. Evolución temporal de los niveles de flúor



Por otra parte se analizaron los datos de consumos mensuales en el período 2002 a 2009 suministrados por la cooperativa, de los que por asociación se deduce el nivel de explotación del recurso, el cual podría constituir una de las variables que condiciona el comportamiento del flúor y el arsénico. La figura 7 muestra tales consumos:

Fig 7. Consumo de agua mensual promedio



Del análisis de dicha serie se deduce, como es esperable, que existen picos en el consumo de agua durante la temporada estival. Tal situación, es comparable con el comportamiento en las concentraciones de flúor y arsénico que se registran en lo pozos estudiados, lo cual podría estar indicando cierta influencia de las condiciones de bombeo de las captaciones sobre dichos tenores.

Capítulo 5: Material y método

5.1 Material utilizado

Los datos e información recopilados de distintos organismos fueron los siguientes:

- A la Administración Provincial del Agua de la Provincia de La Pampa:

a) Estudios Hidrogeológicos para la provisión de agua potable a la localidad de Quemú Quemú (LP).

b) Estudios Hidrogeológicos antecedentes, relativos al tema de estudio.

c) Datos de los pozos que abastecen de agua a la citada localidad.

d) Mediciones de flúor y arsénico realizadas en cada una de las perforaciones entre 1997 y 2009. (Ver Anexo)

- A la Cooperativa de Obras, Servicios Públicos y Provisión de Quemú Quemú. (LP). COSYPPRO, a través de la Ing. Silvia Farchetto:

a) Cuadro de resultados y memorias del balance, sector agua potable desde 2004 a 2008.

b) Detalles de bombas actualmente en funcionamiento con su correspondiente información adicional:

- Capacidad teórica de extracción (m^3/h)
- Horas de Funcionamiento
- Marca
- Potencia instalada (HP)
- Energía (Kw/h)
- Contenido de flúor y arsénico extraído

c) Precio por kilovatio de energía consumida

d) Cantidad de agua despachada por la cooperativa (Consumos) en los siguientes períodos:

- Consumos de agua en m^3/días, durante Diciembre de 2008 a Febrero de 2009.
- Consumos de agua en m^3/mes, desde Abril de 2001 a Septiembre de 2009. (Ver Anexo)

5.2 Pasos metodológicos

En el presente apartado, se describen las tareas a realizar, utilizando los datos e información recopilada, la forma de llevarlas a cabo y los fines perseguidos en cada una de ellas:

1) Se procedió estadísticamente mediante un análisis exploratorio, a la descripción de los datos de *consumos de agua mensuales*, en el período 2001-2009 a fin de evaluar el comportamiento general de la variable. A partir de dicho análisis se obtuvieron las siguientes medidas resumen: media, mediana, máximo, mínimo, desvío estándar y representación gráfica de las mismas a través del gráfico caja y brazos (box plot)

2) Se realizó el estudio de la serie temporal de *consumos mensuales* 2001-2009, empleando la metodología clásica, a partir de la cual fue necesario concretar el siguiente procedimiento:

- Se verificó la aleatoriedad de la serie, mediante Prueba de Rachas.

- Se obtuvo un modelo matemático, como respuesta a la relación entre los valores observados en cada lapso de tiempo considerado, a partir de un modelo aditivo.
- Se obtuvieron valores pronósticos a partir del modelo propuesto. El objetivo principal de este último apartado es plantear luego, un escenario futuro de la demanda de agua, teniendo en cuenta la tendencia de la serie.

3) Se realizó un análisis exploratorio de los datos de *consumos diarios de agua*, a fin de conocer el comportamiento general de la variable: distribución, puntos anómalos. No obstante, el dato de demanda fue necesario luego como herramienta clave en la planteo del problema de optimización.

Los procedimientos estadísticos hasta aquí mencionados se llevaron a cabo mediante el uso del software libre ZAITUN TIME SERIES v (0.2.1) creado para tal fin.

4) Se planteó un modelo de optimización económica de la explotación del acuífero bajo estudio por medio de la técnica de control, siguiendo el enfoque propuesto por Ferreiro Chao (1992). La misma tiene como principal objetivo, interpretar el funcionamiento de dicho sistema, empleando herramientas de programación lineal.

5) Se confeccionaron expresiones lineales a fin de plantear el modelo de optimización económica y la base de datos necesaria

6) Se establecieron las restricciones necesarias para el modelo.

7) Se realizó una base de datos que será puesta a operar, a fin de optimizar la función de costo respetando las restricciones sanitarias y de sustentabilidad.

8) Se procedió a resolver el modelo de programación lineal a partir del programa SOLVER, existente en la versión XP de Excel, la planilla de cálculos de Microsoft.

9) Se analizaron los informes de respuestas en busca de la solución óptima, es decir aquella que reúna tres criterios de importancia: económico (menor costo), de salud (bajo tenor de flúor y arsénico) y sostenible (menor extracción de agua por perforación)

10) Se obtuvieron y analizaron las funciones de costos de producción en función de las demandas diarias de agua

11) Se compararon las funciones de costos medios y costos marginales a fin de obtener el punto de corte de ambas expresiones, y analizar bajo que condiciones opera COSYPRO.

12) Finalmente, se consideraron los valores pronosticados, para el planteo de escenarios futuros de la demanda de agua en la localidad de Quemú Quemú (LP).

5.2.1 Planteo del Problema de Optimización

Llamamos N_i a los pozos de extracción, incluyendo su respectiva instalación sabiendo que i variará entre 1 y 9. De igual manera, C_i indica el caudal de agua medido en m^3/h que se puede extraer de cada una de las N_i de acuerdo a su capacidad teórica.

Bajo el enfoque propuesto por Ferreiro Chao (1992), la extracción de agua es una función de dos variables: la variable de estado X (nivel del acuífero o su capacidad) y la aplicación de una fuente de energía M.

Suponiendo ahora que la explotación del acuífero, no afecta a la variable de estado; es decir que se va a mantener constante, independientemente de la explotación realizada; la función sería expresada de la siguiente manera:

$$\mathbf{E = \mathit{f}\ (\overline{X}\ , M)} \qquad (1)$$

Siendo:

E = extracción por día de agua

$\overline{X}$ = nivel constante del acuífero

M = fuerza aplicada.

Suponemos ahora, a fin de facilitar el modelo, que M no cumple la segunda de las propiedades enunciadas por Ferreiro Chao (1992), es decir que los aumentos adicionales de M producen cantidades iguales de agua (C_i para cada hora de extracción).

La variable E debe entenderse como la extracción diaria de agua total de todo el sistema. Distinguiremos la extracción particular de una de las bombas instaladas acompañando la letra E con un subíndice que indique de qué pozo estamos hablando. Es decir, E_i indica la extracción diaria realizada por la bomba i que variará entre 1 y 9.

Luego:

$$\mathbf{E = \sum_{i=1}^{9} E_i} \qquad (2)$$

A su vez cada E_i es una función del caudal hora teórico de extracción de cada bomba y de la cantidad de horas que la misma funcione:

$$\mathbf{E_i = C_i * H_i} \qquad (3)$$

Siendo H_i la cantidad de horas de funcionamiento por día de la bomba i.

A partir de la potencia de cada equipo y de la intensidad de cada fase de alimentación eléctrica de cada bomba, variables que son medidas en todas las instalaciones existentes, es posible determinar el consumo de energía en kilovatios horas de cada máquina extractora. En función de ello, suponemos que M_i estará indicando la energía consumida por la bomba i en una hora de funcionamiento, sabiendo que i tendrá una variación entre 1 y 9.

Si además, S representa el precio unitario de cada kilovatio hora gastado en la producción de agua ($ 0,08), el costo de la energía aplicada a la extracción de E_i será expresado como sigue:

$$\mathbf{KE_i = M_i * H_i * S} \qquad (4)$$

Siendo KE_i , por ende, el costo de la energía aplicada a la extracción E_i.

No obstante, el costo de captación de agua no depende sólo de la energía aplicada, sino que existen otros costos de producción, alguno de los cuales pueden ser considerados de incidencia directa a la explotación (energía gastada, personal específico) y otros de impacto indirecto (gastos generales o el sueldo del gerente general). En esto casos surge el problema de los costos conjuntos y su asignación específica.

En la determinación de los costos, consideramos la energía eléctrica como principal factor variable y el resto de los factores integrantes del proceso productivo fueron incluidos dentro de la categoría de costos fijos (gasto de personal, amortizaciones de equipos y vehículos, seguros, etc.). Suponiendo que dichos gastos se realizan en forma constante en el tiempo, se dividen por los 365 días del año obteniéndose el promedio diario de costos fijos.

Si llamamos G_i el contenido promedio de flúor para el pozo i y F_i a la cantidad de flúor extraída en forma conjunta con el agua al cabo de un día, tendremos la siguiente expresión:

$$\mathbf{F_i = G_i * E_i} \qquad (5)$$

Si F es el flúor extraído por día tendremos entonces que:

$$\mathbf{F = \sum_{i=1}^{9} F_i} \qquad (6)$$

El mismo problema es planteado para el arsénico. Denominando entonces B_i a la cantidad de arsénico extraída en forma conjunta con el agua al cabo de un día, siendo A_i la cantidad total de este elemento:

$$\mathbf{A_i = B_i * E_i} \qquad (7)$$

$$\mathbf{A = \sum_{i=1}^{9} A_i} \qquad (8)$$

Lo que interesa medir es el contenido de flúor y arsénico por cada m^3 de agua entregada al proceso de potabilización, previa mezcla de los mismos extraídos de cada pozo en la cisterna. Si llamamos f al flúor por m^3 de agua entregada a potabilización y a

al valor de arsénico en igual cantidad de agua, asumiendo que el promedio entre dichas variables es razonable para la combinación de aguas, tendremos que:

$$\mathbf{f = F / E} \qquad (9)$$

$$\mathbf{a = A / E} \qquad (10)$$

Expresado como está, el planteo propuesto constituye un problema de programación lineal donde se busca producir una cantidad diaria de agua equivalente a la demanda cotidiana del sistema (D) al menor costo posible, con un tenor de flúor inferior a 1,8 mg/m^3 y de arsénico a 0,15 mg/m^3. (Valores guía según la Ley número 1.027 con su decreto reglamentario Nº 943 de la Provincia de La Pampa del año 1981) (Ver Tabla 4 del Anexo).

Posteriormente, se agregaron las correspondientes restricciones restantes al problema. En tal sentido se espera que el acuífero sea explotado de manera sustentable, por lo que las horas de bombeo han de ser inferiores o iguales a las 15 diarias y el agua extraída por bomba día, inferior o igual a 200 m^3. Dichas restricciones han sido impuestas por la Administración Provincial del Agua (LP), quien además ejerce la tarea de fiscalización.

$$\mathbf{H_1 \leq 15} \qquad (11)$$

$$\mathbf{C_i \leq 200} \qquad (12)$$

Finalmente, se agrega una última restricción propia de problemas de programación lineal: la no negatividad de las variables principales. En tal sentido, el agua extraída por día por cada bomba deber ser mayor o igual a cero.

$$\mathbf{C_i \geq 0} \qquad (13)$$

De esta manera queda cerrado el planteo del problema de optimización. No obstante aun resta definir una variable se deberá fijar la cantidad de agua por día que deberán extraer las nueve bombas (E), valor que estará supeditado a la cantidad de agua que demande la población de Quemú Quemú (D). El dato de demanda diaria de agua a cubrir por el sistema de extracción es elemento a partir del cual se pone a ejecutar el sistema de programación líneal, intentando hallar la forma de lograr esa cantidad de agua permitiendo variar la cantidad de horas de las bombas extractoras dentro de las restricciones impuestas, con el objetivo de conseguir una combinación de producción al costos más bajo. El sistema cuenta con una cisterna reguladora permitiendo así una producción de agua en función a la demanda. Independientemente de la variación de su volumen durante el día; se supone que la misma está llena al comienzo del día y también al final del mismo, por tal motivo se considera que no será un

elemento influyente en nuestro planteo y por ende la extracción de las bombas (E) deberá ser igual o mayor a la demanda (D).

A fin de determinar los valores posibles de demanda, se analizó la serie de consumos diarios registrados durante diciembre de 2008, enero y febrero de 2009. El valor promedio de dicha serie resultó ser de 965,83 m^3, con un desvío estándar de 103,58 m^3, mínimo y máximo de 676 m^3 y 1389 m^3 respectivamente. El valor máximo además se comporta como un punto anómalo, lo que podría estar indicando un elevado consumo de agua en relación al resto de la serie.

A partir de la información que brinda la serie de consumos diarios, plantee una escala de posiciones para la demanda, sabiendo que la misma oscilará entre el mínimo y el máximo encontrados. En función de ello, supusimos que valdrá alternativamente: 600, 700, 800, 900, 1000,1100, 1200, 1300, 1400 m^3 diarios.

El planteo del problema se resume de la siguiente manera:

1) *Función Objetivo*: Minimizar KT = $\sum_{i=1}^{9} KT_i$
2) Para alcanzar dicho objetivo se suponen como *variables* las horas de bombeo
3) Se establecen las siguientes *restricciones*:

   3.1. $C_i \leq 200$
   3.2. $C_i \geq 0$
   3.3. $H_i \leq 15$
   3.4. $f \leq 1{,}8$ siendo $f = F/E$
   3.5. $a \leq 0{,}15$ siendo $a = A/E$
   3.6. $E \geq D$ (correspondiéndole a D los valores alternativos de consumos diarios mencionados anteriormente)

Una vez planteado el modelo se procede a su resolución mediante la planilla de cálculo del programa SOLVER, complemento de Excel XP.

Capítulo 6: Resultados y Discusión

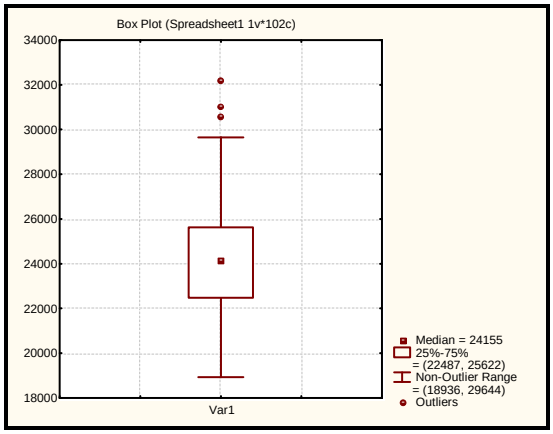
6.1 Análisis de la Serie Temporal

Tratamiento de la serie temporal Consumos Mensuales en m^3

Considerando la serie de consumos de agua mensuales expresados en m^3 durante el período 2001 al 2009, se realizó un análisis exploratorio que arrojó los valores que muestra la tabla 3

Tabla 3. Análisis Exploratorio. Serie de Consumos Mensuales 2001-2009

	CONSUMO
Observaciones	102
Mínimo	18936
Máximo	32183
Rango	13247
Media	24123.92
Mediana	24155
Quartil 1	22487
Quartil 3	25622
Desviación Estándar	2704.237
Varianza	7312898



A partir del análisis de las medidas resumen y su correspondiente gráfica, (box – plot), se observó un consumo medio mensual de 24123,92 m^3 con tres puntos extremos hacia los valores máximos.

Paso seguido, se verificó la aleatoriedad de la serie, mediante la Prueba de Rachas. Los resultados se muestran en la tabla 4

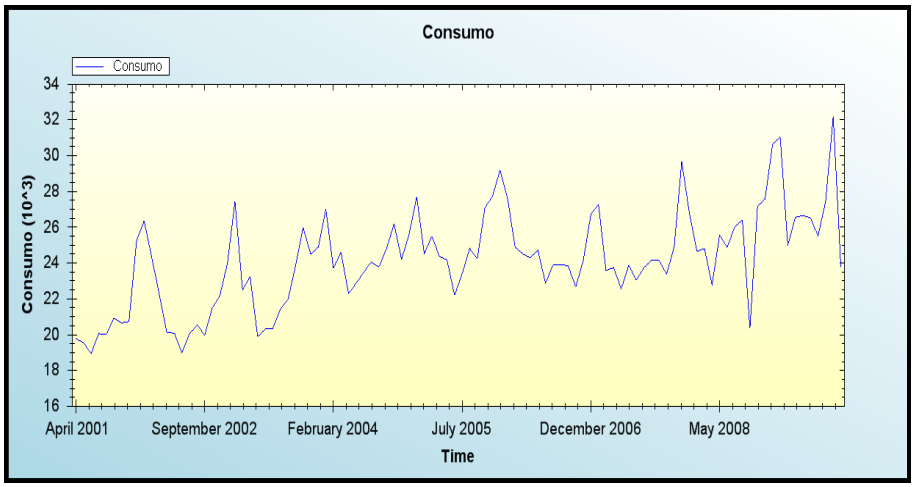
Tabla 4. Resultados Prueba de Rachas

	CONSUMO
Valor de prueba(a)	23977
Casos < Valor de prueba	46
Casos >= Valor de prueba	47
Casos en total	93
Número de rachas	24
Z	-4,900
Sig. Asintót. (bilateral)	,000

Su p valor, ha resultado altamente significativo por lo que rechazamos H_0, es decir que no existe evidencia suficiente para afirmar la aleatoriedad de la serie, por lo tanto estamos en presencia de una serie temporal propiamente dicha.

Posteriormente, se realizó un gráfico de líneas a fin de visualizar la tendencia de la variable analizada

Gráfico 1. Tendencia de Consumos Mensuales (m^3)



De la visualización del gráfico 1, se deduce que la serie presenta cierta regularidad, acompañada de movimientos oscilatorios. No obstante puede apreciarse un ascenso de los valores de manera tal que si se trazara una línea imaginaria, la misma estaría indicando una tendencia positiva de los valores de la serie.

El análisis gráfico, brinda una idea aproximada de la misma, detectándose no sólo una componente de tendencia, sino también de estacionalidad por tratarse de una serie mensual, con picos durante los meses de mayores temperaturas, donde es esperable un mayor consumo de agua por parte de los usuarios. Vale decir, que en la serie analizada su media y/o variabilidad cambiarán a lo largo del tiempo.

Posteriormente se realizó un ajuste de la tendencia mediante una línea recta, obteniéndose una ecuación de regresión donde la variable dependiente es la serie observada y la variable explicativa es el tiempo. La tabla 5 muestra el cuadro de resultados que arrojó el programa:

Tabla 5. Modelo de Regresión para Serie de Consumos Mensuales de agua

Variable	Consumo
Included Observation	102
Linear Trend Equation	**Yt = 21223 +56.33*t**
R	0.616342
R-Squared	0.379877

La interpretación de esta ecuación es que la tendencia introduce un crecimiento de 56.33 m^3 al pasar de un período a otro. Se concluye entonces que el modelo lineal es el que mejor explica el comportamiento de la tendencia (R = 0,6134s)

Finalmente se englobó el comportamiento de la serie temporal en un modelo aditivo a partir del cual se realizó el pronóstico de 15 valores futuros, es decir hasta diciembre del 2010, empleándose para ello un índice estacional igual a 12 por tratarse de una serie mensual y el modelo lineal propuesto anteriormente. A continuación el gráfico 2 muestra la serie de valores actuales y pronosticados mientras que la tabla 6 presenta un detalle de dichos pronósticos en la parte inferior.

Gráfico 2. Valores Actuales y Pronosticados del Consumo de Agua Mensual

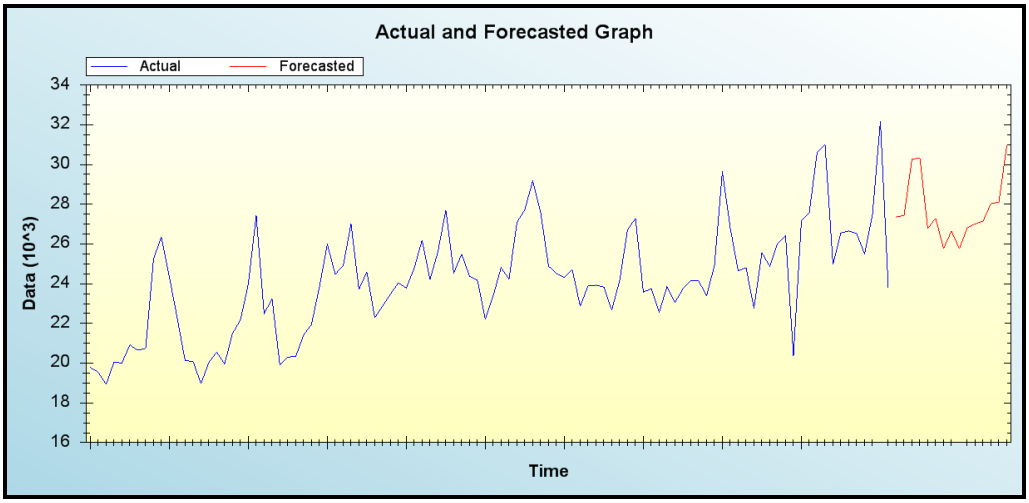


Tabla 6. Valores Pronosticados

2009	Octubre	**27458.9993**
	Noviembre	**27626.4655**
	Diciembre	**30791.4969**
2010	Enero	**30896.8084**
	Febrero	**26864.9985**
	Marzo	**27455.4796**
	Abril	**25617.3253**
	Mayo	**26734.1478**
	Junio	**25738.3574**
	Julio	**26899.5825**
	Agosto	**27157.0517**
	Septiembre	**27299.4498**
	Octubre	**28249.1847**
	Noviembre	**28421.4701**
	Diciembre	**31677.5814**

6.2 El sistema de gestión de la cooperativa

Previo al análisis del modo de abastecimiento de agua por parte de la cooperativa y a partir de conocer que las proyecciones no indican problemas futuros severos en tal problemática consideramos importante realizar un estudio, a través de la revisión y análisis de la información disponible y de una entrevista en profundidad a la Ingeniera responsable sobre el modo con que se realiza la gestión. El objetivo principal es reconocer si el paradigma que guía los procesos corresponde al clásico de la “economía expansionista del agua” o se aproxima a los nuevos criterios de la “nueva economía del agua”.

Recordemos que la visión de “economía expansionista” exige abastecer la demanda, sin intentar operar sobre ella tratando de hacer más racionales los consumos. Esta basada en la construcción permanente de obras de infraestructura para aumentar el abastecimiento y aparece condicionada “por un conjunto de factores que van desde una concepción obsoleta de agua, que ignora la noción de ciclo, hasta el mal estado de las infraestructuras de almacenamiento y distribución agrícola y urbana, pasando por la existencia de un marco institucional anticuado y de una administración pública que hace dejadez de sus competencias y que se inhibe de sus responsabilidades con el fin de no enfrentarse a determinados conflictos y grupos de interés, lo que conduce inevitablemente a la generación de otros conflictos diferentes que, probablemente, van a afectar a otros intereses menos fuertes”.

Pensar en términos de una nueva economía del agua significa reconocer que enfrentamos un dinámico y variable contexto socio económico y ambiental y por lo tanto cultural. Ese entorno es bastante diferente del de hace algunas décadas, lo que significa aceptar que las preguntas necesarias para abordar los problemas del agua son distintas de aquellas cuestiones que eran pertinentes años atrás. Esta mirada supone dos efectos: la primera involucrar en el proceso de decisión a todos los actores afectados y la segunda potenciar el manejo de recurso, apuntando a un mejor uso como alternativa a la construcción de nuevas instalaciones. Por dicho motivo, Aguilera Klink (1998) establece una fase de transición entre las dos etapas: la gestión de la demanda de agua.

El problema fue entonces ¿se realiza en Quemú Quemú gestión de la demanda?
Del estudio relevado concluimos que:

1. La realización de registros sobre el abastecimiento de agua es muy reciente y aun con muchas dificultades de continuidad.
2. Más de la mitad de las conexiones no tienen medición, abonándose sobre un cargo fijo. Es imposible gestionar demanda sin medición.
3. Lo expuesto impide conocer la pérdida de agua en red, dato crucial para gestionar la demanda
4. No evaluaron nunca incorporar un valor al agua extraída como compensación del riesgo de dejar a futuras generaciones sin el recurso. Pero además, manifestaron que el marco institucional no permite tal circunstancia.
5. No cobran un “cargo fijo” como compensador de la “disponibilidad de servicio”. En su reemplazo obligan a pagar un consumo de 9 metros cúbicos a aquellos que no alcancen esa cifra. Es un criterio reñido con la gestión de demanda ya que castiga a quienes pueden ahorrar haciéndole pagar un precio medio por metro cúbico muy superior a quienes consumen por encima de esa cifra.
6. Aunque manifiestan que amortizan los bienes de uso, en realidad solo lo hacen con una parte, no incorporando a los costos la amortización de la red de distribución.
7. No incorpora dentro de los costos un porcentaje destinado a capitalizar la entidad para permitir futuras expansiones de la red o la incorporación de nuevas tecnologías.
8. Al no operar en situación de estrés, no han manifestado preocupación como para lograr una disminución de sus consumos.

A partir de los elementos recabados del análisis de documentos y de la entrevista a la funcionaria de la entidad, quedamos en claro que estamos ante un ente, que si bien puede ofrecer algunas ventajas frente a otras entidades, principalmente por no encontrarse en trance de riesgo la explotación de

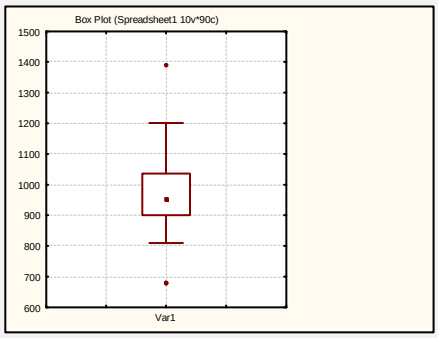
acuífero, no toma en cuenta ni siquiera los criterios de la etapa de transición hacia la “nueva economía del agua”.

6.3 Problema de Optimización

En primer lugar se realizó el análisis exploratorio de la serie de consumos diarios registrados durante diciembre de 2008, enero y febrero de 2009, a fin de determinar el comportamiento de la demanda diaria de agua. Los datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Análisis Exploratorio y Box Plot. Consumos Diarios (12/2008 – 02/2009)

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)				
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev
Var1	90	965,8333	676,0000	1389,000	103,581



A partir de dicho análisis es posible observar un valor promedio de 965 m^3, tal como se mencionó anteriormente, con un mínimo ha sido de 676 m^3 y máximo de 1389 m^3. Cabe aclarar que éste último valor se comporta además como “outlier” (punto afuera o anómalo) por lo que estaría representando un consumo anormal de agua, en relación al comportamiento general de la variable. Sin embargo y a juzgar por la tendencia que manifestó la serie de consumos mensuales y el período de verano en que se registraron los consumos diarios; es un valor a tener en cuenta.

De esta manera, se construyó una escala de posibles valores de demanda comprendida entre el máximo y el mínimo encontrados, para entonces, definir una de las variables de mayor peso en el planteo del problema de optimización.

Posteriormente, se confeccionó una base de datos (ver Anexo) para la resolución del problema. La misma consta de la siguiente información:

- 1º Columna: Número de Perforación.

- 2º Columna: Caudal teórico de extracción de cada una de las 9 bombas (m^3/h). (C_i)

- 3º Columna: Horas de funcionamiento de cada bomba.

- 4º Columna: Caudal extraído por bomba de acuerdo a las horas de funcionamiento. (Este dato surge de multiplicar los datos de la columna 2 por los de la columna 3). Paso seguido se realiza la sumatoria de ésta columna obteniéndose el ***Caudal Diario de Extracción E***

- 5º Columna: Energía consumida por cada bomba en una hora de acuerdo a su potencia. (kw/h)

- 6º Columna: Energía total consumida por cada bomba de acuerdo a las horas de funcionamiento. (Surge de multiplicar los valores de la columna 3 por los de la columna 5).

- 7º Columna. Costo de energía en la extracción. Es el producto entre la energía total consumida por bomba y el precio del kilovatio, en nuestro caso $0,08 (dato suministrado por COSYPRO) expresada en ($/kw).

- Al final de la misma, se establece la sumatoria obteniéndose el ***Costo Total de la Energía Consumida en un día (KT)***

- 8º Columna: Concentración de Flúor promedio en pozo (mg/l).

- 9º Columna: Concentración de Flúor en función de la cantidad de agua despachada. (Surge de multiplicar los valores de la columna 4 por lo de la columna 8). La sumatoria de dicha columna arroja la concentración de Flúor por día.

- 10º Columna y 11º Columna: Se repite el procedimiento realizado para las columnas 8 y 9 respectivamente, pero en este caso, para la concentración de arsénico.

Dado que lo que interesa medir es el contenido de estos dos elementos dañinos en el agua, resulta razonable utilizar el promedio que surge de multiplicar lo extraído de cada elemento por la cantidad de agua captada. Por lo tanto las columnas 12 y 13, reflejan la división entre el total de flúor y producción de agua y se la denomina **f** (contenido de flúor), mientras que la celda de división entre el total de arsénico y la producción de agua, ha sido denominada **a** (contenido de arsénico). Estas celdas son de primordial importancia, dado que a partir de ellas se desarrolla el planteo del problema.

Una vez finalizada la base de datos estamos en condiciones de comenzar a operar con Solver. Previo a ello se determinaron las posibles combinaciones que surgieron de considerar las variables de interés (Ver tabla 8), a fin de obtener para cada una de ellas, una solución de costo mínimo, tenor de flúor y arsénico determinado, horas de bombeo y cantidad de agua despachada por cada una de las bombas.

Tabla 8. Variables de Interés

Demanda	Flúor	Arsénico	Hs Explotación	Caudal de Extracción
600 700 800 900 1000 1100 1200 1300	1,8	0,15	15	200
1400 1500			18	220

De esta manera el programa comenzó a combinar las ocho posiciones de demanda diaria de agua definidas con las concentraciones de arsénico y flúor establecidas, así como también la cantidad de horas de explotación y el caudal a extraer.

Para ello se activa el comando Solver del grupo de herramientas existentes en Excel.

Se le indicará que la celda objetivo es la de ***Costo de Producción (KT***) y que el propósito es hacer mínimo dicho valor. Para ello, el programa podrá cambiar todas las celdas correspondientes a las ***Horas de explotación*** (celdas cambiantes).

Luego se cargan las restricciones, tal cómo se indicó en el planteo del problema. Se comenzó indicando que cada una de las celdas pertenecientes a la 4º columna debe ser mayor o igual a cero, como así también que cualquier celda de la misma columna deber ser menor o igual que el límite máximo diario a extraer sin afectar el acuífero. Tal como se mencionó anteriormente, dicho límite deberá ser de 200 m^3. Dado que el sistema no halló una solución para el nivel de 1400 metros cúbicos de agua, flexibilizamos la exigencia permitiendo extraer hasta 220 metros cúbicos, siempre que la capacidad extractora de la bomba lo permitiera

Posteriormente se carga la restricción horaria. Cada celda de la 3º columna debe ser menor o igual que la cantidad de horas que puede operar la bomba, que según se ha establecido, la misma deberá ser de 15 horas para permitir de ese modo un descanso diario del pozo y facilitar que el acuífero en ese lugar recupere su situación.

Corresponde ahora cargar las restricciones de flúor y arsénico. En tal sentido, nos referimos a una única celda que denominamos contenido de flúor (f) y corresponde a la columna 12, la cual deberá ser inferior a 1,8 mg/l. El mismo procedimiento se efectúa para el arsénico ubicado en la celda vecina, correspondiente a la columna 13 y denominada contenido de arsénico (a), que no deberá superar los 0,15 mg/l.

Finalmente queda por definir la cantidad de agua diaria de agua a producir que debe ser igual o superior a la demanda, previamente definida en las nueve posiciones que figuran en la tabla 8.

Para modificar cada una de las variables alternativas, es necesario accionar el comando Solver e identificado el valor a variar activar el comando *cambiar* para introducir dicha modificación. Con el comando *resolver*, el programa comienza a iteracionar hasta comunicar que halló o no una solución y si la misma cumple las restricciones y condiciones impuestas.

Vale la pena destacar que hemos tomado dos posiciones para la demanda de agua muy por encima del pico máximo de despacho diario registrado en el período de recolección de datos. Hemos probado el sistema como si tuviese que entregar 1400 metros cúbicos diarios y después si se le exigieran 1500 metros cúbicos. Si bien, hubo que flexibilizar alguna de las restricciones (posibilidad de extraer hasta 220 metros cúbicos por bomba y de trabajar algunas horas más, el sistema pudo satisfacer los requerimientos soportando las restantes exigencias. Estos son datos que corresponde tomar en cuenta si se suponen escenarios más importantes en exigencias de agua.

A continuación en la tabla 9 se expone un modelo de informe del programa Solver:

Tabla 9. Modelo de Informe de Solver

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 16/06/2010
17:33:26

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	16,5	4,620483956

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0
C3	Bomba 6 Hs	15	0
C4	Bomba 7 Hs	17,5	0
C5	Bomba 9 Hs	17,5	0

C6	Bomba 10 Hs	20,5	12,07392396
C7	Bomba 11 Hs	20	0
C8	Bomba 12 Hs	7	7,515155841
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	15	13,54096141

Cuando Solver encuentra una solución comunica la misma mediante una ventana de diálogo y ofrece el informe de respuesta. En dicho documento puede leerse los datos del programa, nombre del archivo, fecha y hora de creación del informe. Luego viene la definición de la celda objetivo indicando si el problema es maximizar o minimizar. La coordenada de la celda, su nombre, su valor original desde donde comenzó a trabajar y su valor final. A renglón seguido se informa cada una de las celdas cambiantes (coordenadas, nombre, valor original y valor final).

Posteriormente comienza a detallar las restricciones indicando la coordenada de la celda, su nombre, el valor, la fórmula de la restricción, si es de cumplimiento obligatorio, es decir, si alcanzó el valor máximo definido en la restricción. Caso contrario, será opcional, indicando en tal caso, la divergencia entre el valor hallado y la restricción. La segunda parte del informe Solver se muestra en la tabla 12.

Tabla 10. Segunda parte de informe Solver

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	0	D2<=200	Opcional	200
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	0	D3<=200	Opcional	200
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	0	D4<=200	Opcional	200
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	0	D5<=200	Opcional	200
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	154,9084444	D6<=200	Opcional	45,09155556
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	0	D7<=200	Opcional	200
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	70,19155556	D8<=200	Opcional	129,8084444
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=200	Opcional	25,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,177518356	L2<=1.8	Opcional	0,622481644
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,15	M2<=0.15	Obligatorio	0
D11	∑ Q'(m3/h)	600	D11>=600	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0	C2<=15	Opcional	15
C3	Bomba 6 Hs	0	C3<=15	Opcional	15
C4	Bomba 7 Hs	0	C4<=15	Opcional	15
C5	Bomba 9 Hs	0	C5<=15	Opcional	15
C6	Bomba 10 Hs	12,07392396	C6<=15	Opcional	2,926076037
C7	Bomba 11 Hs	0	C7<=15	Opcional	15
C8	Bomba 12 Hs	7,515155841	C8<=15	Opcional	7,484844159
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=15	Opcional	1,459038592

Puede notarse que para la producción de 600 metros cúbicos se obtuvo produciendo la bomba 10 155 metros cúbicos con una operación de 12 horas diarias, más 70 metros cúbicos de la bomba 12 en 7 horas y media de trabajo, a lo que se adicionó 175 metros cúbicos de la bomba 13 que operó la totalidad del tiempo permitido (15 horas) y 200 metros cúbicos de la bomba 14 en 13 horas y medias de operación. Esta última perforación es la más eficiente de todas.

El valor del flúor para esa mezcla de agua es de 1,18 y la composición del arsénico justo en el límite solicitado de 0,15.

Se obtuvieron 11 informes de respuestas, donde cada uno de ellos detallaba el costo mínimo calculado para las restricciones definidas. En todos los informes, los datos correspondientes a las variables de interés obtenidos en dichas soluciones, coinciden con las restricciones fijadas. Es decir, que el programa encontró soluciones óptimas, excepto para el valor de demanda igual a 1400 m^3 diarios, para la cual Solver no halló una solución.

No obstante, a partir del análisis realizado con la serie de consumos mensuales (2001-2009), se espera un aumento progresivo de dicha variable en el tiempo, por lo que interesó considerar el valor de 1400 m^3 y posteriormente el de 1500 m^3 como escenario futuro, para lo cual hubo que flexibilizar las restricciones de las horas de explotación de las bombas y posteriormente de la cantidad de agua a extraer por día de cada una de ellas. Los resultados de dichos informes están disponibles en el anexo.

En primer lugar se incrementó la cantidad de horas de explotación a 18 hs, y Solver halló soluciones para valores de demanda de 1400 m^3 y 1500 m^3 día. Fijando nuevamente la restricción horaria en 15 hs., se estableció una extracción por bomba de 220 m^3, condición que sólo se cumplirá para producir 1400 m^3 por día, dado que para una demanda diaria de 1500 m^3, extrayendo 220 m^3 de cada una de las bombas, el programa no halló solución.

Cabe afirmar, bajo esta situación entonces que el sistema no trabaja en condiciones de estrés para las posiciones de demanda planteadas. Pero para el nivel de demanda máximo diario se halló una solucione óptima, modificando algunas de las restricciones. Los valores de demanda de 1400 m^3 y 1500 m^3 se considerarán como escenarios alternativos y serán tratados con posterioridad.

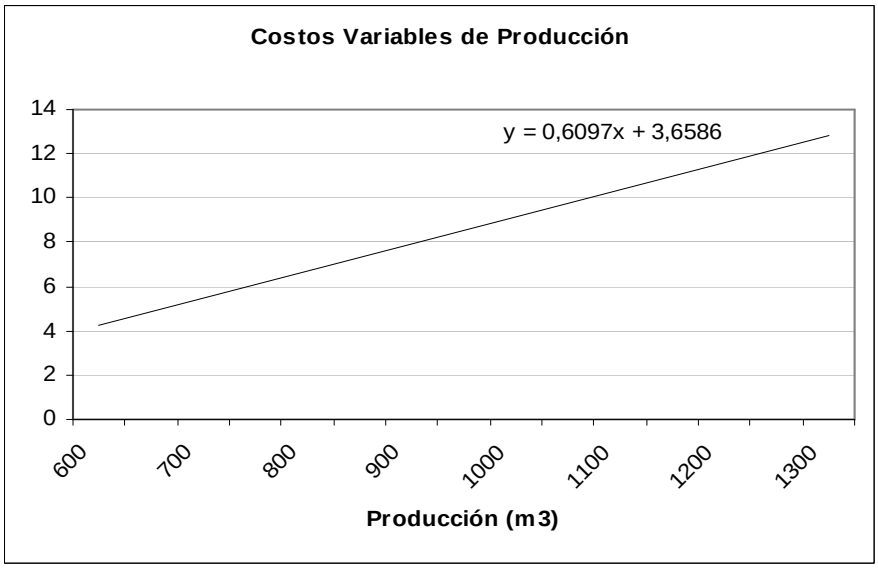
6.4 Costos de Producción

El programa utilizado fue informando de los costos mínimos para cada nivel de producción de agua. Esos costos, que representa el valor de la energía utilizada para extraer el agua del acuífero constituyen lo que se llaman costos variables.

Recordemos que los costos variables son aquellos que se modifican en función de la escala de producción de agua. Lo opuesto son los costos fijos, entendiendo por tal aquellos elementos que no se modifican al cambiar los niveles productivos.

En gráfico 3 se presenta la función de costos variables de producción ajustados

Gráfico 3. Costo de Producción



Los costos fijos de producción de agua se calcularon utilizando datos contables. Es decir, fueron extraídos de los cuadros de gastos por sección presentados en los Estados Contables por la cooperativa prestataria.

Dado que no existe una apertura importante de las cuentas contables de estos gastos, todo el importe que no fuese energía se lo considero fijo. En realidad, habría que considerar como variable el costo de la desinfección del agua, que se realiza mediante la utilización de cloro líquido, pero como el importe que obra en los balances es de naturaleza anual, para hacerlo compatible con nuestro modelo que trabaja en forma diaria, se calcularon los costos fijos por día dividiendo ese importa por los días del año.

Posteriormente se calcularon los costos totales de producción por día. Como su nombre lo indica esto supuso la simple suma del valor de los costos variables adicionado a los costos fijos.

Seguidamente se calcularon las funciones de costos medio, tanto fijos, como variable y total y el costo marginal. Estas son las que permitirán tomar decisiones o al menos conocer el nivel de producción donde los insumos son más eficientes. Los costos medios son los costos incurridos por unidad de producción y se obtiene dividiendo el costo por la cantidad de metros cúbicos de agua producidos.

Para una buena gestión de la demanda de agua es muy importante conocer el valor de los costos medios totales de producción, pues es la referencia que debe superarse mediante la consideración de los ingresos medios.

Además, este punto donde los ingresos medios igualan a los costos medios ocurre la solución cooperativa al abastecimiento de agua, porque la finalidad de entidades de este tipo es prestar el servicio al menos costos y cubriendo esos costos. Este óptimo cooperativo, en condiciones de monopolio, coincide con el óptimo de la competencia perfecta.

El costo marginal mide la tasa de cambio de la función de costos totales, que como resulta lógico presenta la misma tendencia que la función de costos variables. Es un dato muy importante ya que como aconseja la teoría económica el óptimo productivo de una empresa se produce cuando los costos marginales son iguales a los ingresos marginales. Vale recordar que esta posición es la de la empresa perfectamente competitiva.

El concepto de marginal significa el valor que se adiciona en la función de costos o ingresos totales cuando se decide incrementar en una unidad la cantidad producida. Si al decidir aumentar la producción en un metro cúbico resulta que el aumento del ingreso es mayor que el aumento de los costos, convendrá producir ese metro cúbico adicional. Por el contrario, resulta que el aumento de los costos es mayor que el aumento de los ingresos la decisión será no llevar adelante ese incremento. En consecuencia, no resulta difícil concluir que la empresa maximizará su beneficio cuando los costos por un aumento de producción en una unidad sean iguales al aumento de los ingresos.

También habíamos visto que los costos marginales cortan los costos medios en su punto mínimo y que esa cantidad productiva define si la empresa prestataria está trabajando en zonas de rendimientos crecientes (que no es razonable producir, salvo que no existan más compradores para el producto), cosa que se da antes del corte entre las funciones de costo; ó por el contrario, está en zonas de rendimientos decrecientes que es donde la teoría aconseja producir. Si se diera la primera de las opciones, diremos que

el prestatario está trabajando fuera de escala, razón por la cual cualquier aumento de la entrega de agua supondría una rebaja de los costos medios.

Se estimaros los costos marginales estimando la variación de cada variable (producción y costos) y realizando el cociente entre ellos.

La tabla 11 muestra dichos costos de producción.

Tabla 11. Costos de Producción

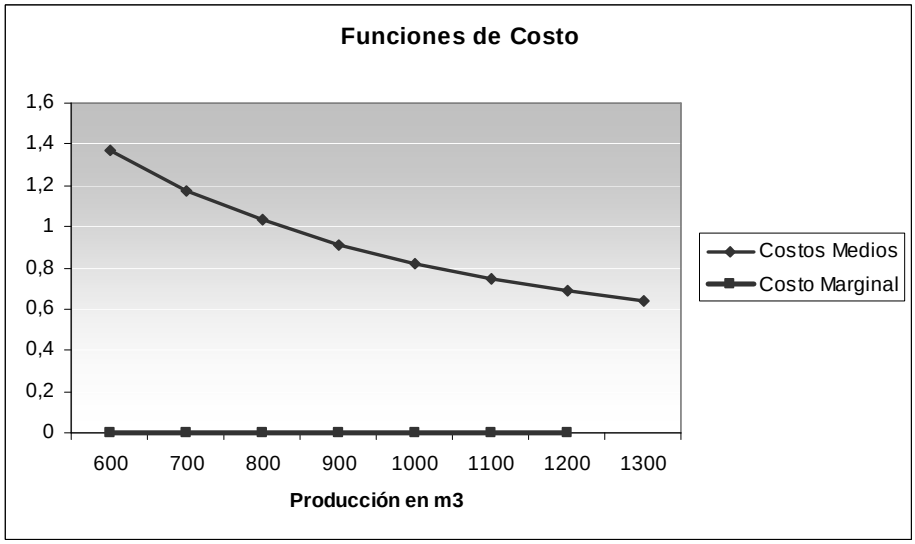
Producción (m3)	Costo Variable	Costos Fijos	Costo Total	Costo Medio Fijo	Costo Medio Variable	Costo Medio Total	Costo Marginal
600	4,62	815,13	819,75	1,36	0,0077	1,37	
							0,002
700	5,58	815,13	820,71	1,16	0,007971429	1,17	
							0,0014
800	6,6	815,13	821,73	1,02	0,00825	1,03	
							0,0012
900	7,66	815,13	822,79	0,91	0,008511111	0,91	
							0,0009
1000	8,85	815,13	823,98	0,82	0,00885	0,82	
							0,0007
1100	10,08	815,13	825,21	0,74	0,009163636	0,75	
							0,0006
1200	11,63	815,13	826,76	0,68	0,009691667	0,69	
							0,0005
1300	13,27	815,13	828,4	0,63	0,010207692	0,64	

Otro punto importante es cuando los costos marginales cortan los costos medios variables o los costos medios totales. El análisis teórico indica que en ese punto los costos medios estarán en un mínimo. Es un dato sumamente importante para una entidad como la cooperativa ya que indica el punto de mayor productividad: el nivel productivo donde se consigue mayor cantidad de agua por unidad insumos utilizadas.

Este dato también resulta interesante para determinar la etapa de la función de producción en que está trabajando la cooperativa proveedora y conocer si esta trabajando dentro de una escala adecuada o está teniendo problemas de escala.

En el gráfico 4 se muestran las relaciones entre los costos medios y los costos marginales.

Gráfico 4. Funciones de Costo



En la misma se observa que la función de costos marginales se desplaza por debajo de las funciones de costos medios, como resulta lógico, los costos medios son decrecientes sin que se lleguen a cortar.

Como dijimos antes, esto significa que la empresa está operando en zona de rendimientos crecientes. Dijimos que es una evidencia que el agua producida no alcanza a cubrir los costos medios, razón por la cual resulta evidente que la cooperativa prestataria está funcionando fuera de escala. Incrementos productivos producirán rebaja de los costos medios por la mejora de esa escala.

6.5 Escenarios

Anticiparse al futuro equivale a tener claridad sobre las dificultades a que se puede estar expuesto y también reconocer con mayor certeza el camino que se está transitando.

En un mundo con las características del actual donde la complejidad entreteje la incertidumbre de manera más densa, donde la velocidad de los cambios y los eventos inesperados se vuelven cada vez más frecuentes, es urgente tener una visión de futuro que permita tomar previsiones necesarias para enfrentar lo que vendrá.

El análisis del futuro de una organización (empresa, ONG, país, entidad territorial, etc) constituye una alternativa de generación de ventajas comparativas. (Paz, 2009)

Sin duda la determinación de tendencias se constituye en un elemento fundamental para tomar en cuenta las fuerzas motoras del cambio y las emergentes.

Pero el ejercicio prospectivo quedaría incompleto si no acabamos el proceso de visualizar los posibles escenarios y seleccionar el deseable para diseñar las estrategias y las acciones que nos lleven a realizarlo.

El mundo de los escenarios es cada vez más amplio, hay definiciones, tipologías y métodos y técnicas de construcción cada vez más numerosas.

Ahora bien, la pregunta es: *¿cómo definir un escenario?..* En tal sentido, existen múltiples definiciones que expresan versiones sobre los escenarios.

Pierre Back (2007) quien se dedicó a los escenarios pone algo de orden para la comprensión del concepto, definiéndolos como descripciones creativas y necesariamente simplificadas, descripciones de ambientes complejos

Se trata de historias, imágenes o mapas del futuro. Internamente consistentes, describen caminos del presente a un horizonte en tiempo futuro.

Los buenos escenarios están enraizados en el pasado y en el presente: proveen una interpretación de eventos presentes y pasados que se proyectan en el futuro. Los escenarios se enfocan en la incertidumbre. El objetivo es identificar el mayor número posible de incertidumbre que afectan las decisiones que hoy se toman pueden jugar un papel evaluado y probado contra la incertidumbre del futuro.

Como regla, dice Wack, la construcción de escenarios es útil en situaciones donde el pasado y el presente son una guía para el futuro.

Según el mismo autor, los escenarios tienen como características:

- ***Visiones Múltiples***. Los escenarios siempre implican más de una visión de futuro. Una sola visión es predicción. Desarrollan diferentes lógicas, un escenario puede basarse en las fuerzas del mercado, otro podría enfatizar fuerzas sociales y políticas.
- ***Cambios Cualitativos***. Los escenarios son más apropiados mientras las situaciones sean más complejas e inciertas donde se mueven fuerzas cualitativas.
- ***Objetivos***. El objetivo describe lo que podría pasar, no aquello que queremos que pase. Si los escenarios son vistos como imposibles o no factibles, serán rechazados.
- ***Con final abierto***. Los escenarios son historias. No explican detalles precisos. Permiten que el lector añada detalles que mantienen vivos a los escenarios y permiten extrapolar a otros ejemplos más allá de la descripción.
- ***Relevantes***. Deben resultar en las incertidumbres y fuerzas de cambio relevantes a las decisiones estratégicas de una organización o país. (Paz, 2009).

En cuanto a los objetivos de los escenarios, cabe mencionar, los siguientes:

1- Servir de método para pensar sistemáticamente y diseñar creativamente futuros sobre una problemática.
2- Seleccionar las opciones más importantes para el futuro.
3- Profundizar en el entendimiento de las implicaciones o consecuencias de las diferentes *opciones futuras.*
4- Servir de plataforma de discusión y análisis a profundidad de las opciones futuras y sus implicaciones.
5- Ayudar en la toma de decisiones a corto plazo y a la selección de estrategias para el largo plazo.
6- Ser instrumento pedagógico para presentar rápidamente algunos futuros y sus implicancias.
7- Permite concientizar y lograr voluntades de apoyo a unas ideas o problemáticas expresadas en los escenarios.
8- Medio de comunicación y "venta" de ideas.
9- Ayuda a confeccionar imágenes que serán utilizadas por otros medios para la difusión y promoción de ideas contenidas en los escenarios.
10- Finalmente pero no menos importante, los escenarios son un excelente método de planificación a largo plazo y de trabajo en equipo para dicha planeación. (Porto, 1998)

En lo que a clasificación de escenarios se refiere, cabe mencionar aquellos que se diferencian por el tipo de futuro, tal es el caso de los ***Escenarios Normativos*** vs. ***Escenarios Exploratorios*****.**

En el primer caso, sus restricciones se derivan de las leyes naturales, mientras que en el segundo con las imágenes del presente se generan imágenes del futuro altamente probables de suceder. Los ***Escenarios Tendenciales*** son los que se ubican en este rubro.

En el presente trabajo se ha determinado un ***Escenario Tendencial*** que contempla valores extremos de demanda (outliers). Dado que no es esperable un aumento notable en la densidad poblacional se plantea por el contrario un aumento de los consumos de agua y es por eso que en dicho escenario se utilizan los valores de 1400 m^3 y 1500 m^3 diarios.

En contraposición a ello se definen dos ***Escenarios Alternativos***, considerados como negativos respecto de la posición asumida por el escenario tendencial. Tales escenarios surgen de un breve diagnóstico de los sectores productivos más relevantes de la Provincia de La Pampa, realizado por el Ministerio de Producción de la misma, en el que se partió de la base de ordenamiento territorial en micro-regiones dispuesto en la

Ley N°2.461, de descentralización provincial. En es te marco se identificaron los distintos sectores, actividades y complejos productivos prioritarios para cada micro-región.
De acuerdo con la Micro-Región a la que pertenece la localidad de Quemú- Quemú, se describen los siguientes escenarios alternativos.

1- Planta de Biocombustible

El balance de masa para el caso del agua en una planta de biodiesel se realiza para el sector de producción y servicios con sus respectivos consumos de agua detallados a continuación, teniendo en cuenta que una planta de estas características funciona 24 hs.

Sector Producción: el agua ingresa mezclada (todos los datos son en base a toneladas de aceite neutro seco):

Aceite (neutro seco; MP para biodiesel): 0,07%
Metanol: 0,05% - 86,15 Kg/Ton de aceite neutro seco
Metilato de Sodio: 0,3% - 21,55 Kg/Ton de aceite NS
Acido Fosfórico: 20% - 1,3 Kg/Ton de aceite NS
Acido Clorídrico: 68% - 10,66 Kg/Ton de aceite NS
Consumo de agua tratada para lavado de gaces: 50 kgs/h

El total en el consumo agua con capacidad 150 toneladas por día es de aproximadamente de 101,87 Kgs/h (0,10187 m^3/h).

Esta agua en su mayoría se va en la glicerina producida (97,57 kg/h) y en el biodiesel (0,94 kg/h). La otra parte junto con todo el vapor del sistema de vacío se utiliza como rehidratación de soda cáustica en refinería.

Sector de servicios: casi el total de agua de pozo que consume la planta será para reposición de torres de enfriamiento. Si tomamos que la planta mueve en torres unos 200 m^3/h y que se repone entre evaporación, arrastre y purga un 3%, la reposición a torres será de unos 6 m^3/h

A esto le agregamos agua de vestuarios y de duchas equivalente a 1m3/h.

De esta manera el consumo total en el sector servicios es de aproximadamente

7 m^3/h. No se generan efluentes.

Valor aproximado de demanda de agua diario: 170 m^3 día que adicionados a los 1300 m^3 de demanda máxima estimada, harían un total de 1500 m^3 de consumo diario.

(Fuente: Ing. Ignacio PEREZ FURELOS. Gente de La Pampa. Catriló. Pcia. De La Pampa)

2- Planta Frigorífica de Tránsito Federal

La misma se caracteriza por tener un consumo aproximado de agua que varía entre 1000 y 1500 litros/animal faenado en el caso de bovinos y equinos, mientras que tratándose de ovinos y porcinos el consumo desciende a 300 y 500 litros/animal faenado.

El gasto de agua corresponde a toda la línea de faena, desde el ingreso del animal hasta cámara de refrigeración y desposte. Siendo las actividades principales, las que a continuación se mencionan:

-Lavado de camiones.

-Lavado de corrales.

-Lavado playa de faena: Zonas súcias, semi-sucia y limpia.

-Lavado de medias reses.

-Gasto de agua por operarios.

-Saneamiento: Lavado, limpieza y desinfección de playa de faena. Edificio en general. Riego y parquizado.

En cuanto a la capacidad de faenado, se considera para este escenarios un total de 400 a 500 animales por día. No obstante se sabe que actualmente algunos de los frigoríficos con las características mencionadas, estarían faenando muy por debajo de su capacidad alrededor de 500 a 600 animales por mes.

Valor aproximado de demanda de agua diario: 1000 m^3 día que adicionados a los 1300 m^3 de demanda máxima estimada, harían un total de 2300 m^3 (considerando un gasto promedio de 2 m^3 por animal faenado entre bovinos, equinos, ovinos y porcinos, con una producción diaria de 500 animales)

(Fuente: Dr. Roberto OTROSKY. Fac. de Cs, Veterinarias. UNLPam)

Cabe aclarar que ambos escenarios están emplazados en zonas alejadas al área de influencia del acuífero y sus respectivos pozos de abastecimiento, pero conectados al servicio de red.

Una vez definidos ambos escenarios, fue necesario poner a prueba mediante el uso del programa SOLVER, un valor aproximado de la demanda de agua diaria (1500 m^3 y 2300 m^3 respectivamente) de modo tal de poder evaluar la respuesta del sistema frente a tal consumo.

En el caso del **Escenario 1** denominado **Planta de Biocombustible**, el programa halló solución flexibilizando las horas diarias de funcionamiento de cada una de las bombas. A continuación se expone el informe de respuestas que el mismo arrojó.

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	1,104942446	16,43254965

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	0	12,89846111
C3	Bomba 6 Hs	0	18
C4	Bomba 7 Hs	0	14,69507715
C5	Bomba 9 Hs	0	18
C6	Bomba 10 Hs	0	15,58846454
C7	Bomba 11 Hs	0	16,66666675
C8	Bomba 12 Hs	0	18
C9	Bomba 13 Hs	0	17,15265875
C10	Bomba 14 Hs	11,50981715	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D11	∑ Q'(m3/h)	1499,999999	D11>=1500	Obligatorio	0
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,1181128	M2<=0.15	Opcional	0,0318872
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,384619463	L2<=1.8	Opcional	0,415380537
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	83,83999722	D2<=200	Opcional	116,1600028
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	161,64	D3<=200	Opcional	38,36
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	200	D4<=200	Obligatorio	0
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	86,4	D5<=200	Opcional	113,6
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	200	D6<=200	Obligatorio	0
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	200,000001	D7<=200	Obligatorio	0
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	168,12	D8<=200	Opcional	31,88
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	200,000001	D9<=200	Obligatorio	0
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	12,89846111	C2<=18	Opcional	5,10153889
C3	Bomba 6 Hs	18	C3<=18	Obligatorio	0
C4	Bomba 7 Hs	14,69507715	C4<=18	Opcional	3,304922851
C5	Bomba 9 Hs	18	C5<=18	Obligatorio	0
C6	Bomba 10 Hs	15,58846454	C6<=18	Opcional	2,41153546

					4
C7	Bomba 11 Hs	16,66666675	C7<=18	Opcional	1,33333325
C8	Bomba 12 Hs	18	C8<=18	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	17,15265875	C9<=18	Opcional	0,847341252
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=18	Opcional	4,459038592

Es posible apreciar, que según este informe, todas las bombas podrían trabajar a lo sumo 18 hs, tal como se especifica en la restricción horaria, abasteciendo 1500 m^3 de demanda diaria con un caudal máximo de extracción de 200 m^3/h, respetándose además los tenores de flúor y arsénico.

Se concluye que el sistema de abastecimiento actual podría soportar el **Escenario Planta de Biocombustible**, de acuerdo con sus características, con solo aumentar la cantidad de horas de trabajo de las bombas.

Por el contrario, en el caso del **Escenario 2** denominado **Planta Frigorífica de Tránsito Federal,** como es de esperar, el programa no halló solución para el valor de demanda diario estimado de 2300m^3. Por lo tanto el sistema de abastecimiento no soporta la conexión de una actividad como la descripta.

Posibles soluciones: En caso de mediar la intención de instalar una planta de las características de esta última, la recomendación sería que la misma lo haga alejada del núcleo de recarga del acuífero, de manera de evitar competitividad por la fuente y no comprometer además la calidad de sus reservas. Tal situación implicaría que la empresa realizara su propia perforación.

Por el contrario, si la misma exigiese su conexión a red, significaría la realización de nuevas perforaciones, que según estudios realizados, el acuífero las soportaría, aunque poniendo en estrés la fuente.

Según un estudio llevado a cabo por J. Malán y Schulz C., en una superficie de 5 km^2 sobre el área acuífera, se estima que la reserva de la misma sería del orden de los 5.000.000 de m^3 de agua perfectamente potable, con una recarga de aproximadamente 250.000 m^3 que se infiltrarían anualmente.

A simple vista puede apreciarse que la reserva acuífera de Quemú Quemú toleraría algunas perforaciones con las cuales poder abastecer la demanda de agua potable durante un tiempo prudencial, siempre y cuando se respeten las prácticas tendientes a preservar el recurso

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

En primer lugar y mediante la visualización gráfica de la serie de consumos mensuales registrados durante parte del 2001 y hasta el 2009, pudo observarse que la misma presenta una leve tendencia positiva o ascendente, lo que estaría reflejando un incremento hacia valores elevados de consumo de agua. También es posible observar la presencia de estacionalidad, es decir, movimientos oscilatorios de ascensos y descensos en dichos consumos en intervalos regulares de tiempo, indicando, como es de esperar "picos" de consumo en la temporada estival.

Las medidas resumen obtenidas mediante la técnica de análisis exploratorio, resultaron en una media mensual de 24123.92 m^3, un desvío estándar de 2704.237 m^3, con un mínimo de 18936 m^3 y un máximo igual a 32183 m^3. La serie no está bien comportada, mostrando tres puntos anómalos (outliers), siendo el valor máximo uno de ellos.

A partir de último dato de la serie de consumos mensuales correspondiente al mes de septiembre del 2009, se pronosticaron 15 valores de consumos hasta concluir el año 2010. El último valor pronosticado resultó ser de 31677.5814 m^3, lo que implicaría a lo largo de dicho mes un valor promedio de consumo diario de aproximadamente 1056 m^3.

Analizando entonces la serie de consumos diarios registrados durante diciembre de 2008, enero y febrero de 2009, se encontró que el valor promedio de la misma es de 965, 83 m^3, con un desvío estándar de 103,58 m^3, valor mínimo de 676 m^3 y máximo de 1389 m^3. De esta manera se concluye que el valor pronosticado se encuentra levemente por encima del valor medio de consumo diario actual. No obstante, existieron demandas anómalas que estuvieron muy por encima de esos valores registrados. Al definir la tabla de demanda para poner en marcha el modelo de optimización decidimos tomar en cuenta los máximos registrados mas allá de la proyección realizada.

Planteado el modelo de optimización, se hallaron informes de respuesta con soluciones óptimas para las combinaciones posibles, cumpliendo con todas las restricciones impuestas, excepto para el valor de demanda de 1400 m^3 diarios.

Se concluye que en la actualidad, el sistema puede combinar distintas extracciones de agua a los costos más bajos posibles y respetando las restricciones establecidas por la normativa vigente. Este hecho se ve reflejado, por ejemplo, en que para atender un valor de demanda aproximado al promedio de 965 m^3, todas las bombas podrán trabajar menos de las 15 hs impuestas, lográndose una costo mínimo de

aproximadamente $ 8,84 y con una concentración de flúor igual a 1,23 mg/l. El mismo análisis se realizó para el valor de demanda igual a 1300 m^3 y en este caso la el costo mínimo resultó de $ 13,27, y la concentración de flúor se incrementó a 1,28 mg/l, una diferencia poco significativa

Realizado el análisis con las funciones de costos, puede apreciarse que los costos marginales se encuentran por debajo de los costos medios y dentro de los valores trabajados no se acerca a dicha función. Esto significa que el punto de menor costo medio se encuentra en niveles de demanda muy superiores a los 1400 metros cúbicos despachados diariamente.

Significa que la cooperativa podrá disminuir los costos por metros cúbico en la medida que incremente la producción de agua, es decir, que aumente su escala productiva. Este es el problema más preocupante de la entidades pequeñas de abastecimientos de agua, trabajan fuera de escala óptima, razón por la cual, más allá de desempeñarse en un sistema monopólico requiere de un importante apoyo complementario por parte del Estado.

Finalmente se analizaron probables escenarios futuros teniendo en cuenta la tendencia de la serie y trabajando con valores de demanda posicionados en 1400 m^3 y 1500 m^3. El programa halló soluciones para dichos valores, supeditado a un aumento en las horas de explotación a 18 hs, pero manteniendo un caudal diario máximo de extracción de 200 m^3. Es decir que con una mínima flexibilización en las horas será posible abastecer valores por encima del máximo hallado en la serie actual. También se evaluó la posibilidad de aumentar el límite diario de extracción por bomba, de 200 a 220 m^3, manteniendo sin cambios las restantes restricciones, pero la solución no fue diferente a la prueba anterior.

Se concluye entonces lo siguiente: el sistema actualmente realiza un aprovechamiento del acuífero dentro de los límites que permiten su conservación y el modelo desarrollado le permitirá trabajar minimizando sus costos sin alterar la regulación sanitaria y de protección. No obstante se observa una leve tendencia ascendente en los consumos mensuales, lo que podría indicar que al cabo de un tiempo, pueda tener algunas dificultades de operación, aunque ninguna de ella demasiado severa, ya que podría subsanarse flexibilizando las horas de explotación o construyendo alguna perforación adicional.

En relación, al tiempo estimado en que el sistema podría entrar en estrés, cabría el siguiente razonamiento: si consideramos el último registro de consumo mensual y el último valor pronosticado, sólo existe una diferencia de aproximadamente 4219 m^3 que representarían un incremento del promedio diario de consumo de agua igual a 140 m^3. El incremento estimado al que se hace referencia, se alcanzó en un año, por lo que de

acuerdo al análisis de la tendencia en tres o cuatro años más se estaría alcanzando un consumo promedio diario entre 1300 y 1400 m^3. Estimo que existe tiempo suficiente como para que la cooperativa construya algunas perforaciones adicionales que le permitan atender esas demandas.

Finalmente, estaríamos facilitando a la cooperativa un programa que alimentado con datos de cada una de las mediciones realizadas le permitiría operar en sus costos mínimos y que además posee flexibilidad como para poder incorporar las nuevas perforaciones que se realicen. Con mucha facilidad será posible incluir nuevos pozos al programa para sostener una producción de menor costo

Recomendaciones.

En función del estudio realizado, se sugiere continuar e incrementar los siguientes registros: de consumos diarios y mensuales, como también de concentración de flúor y arsénico en pozo, horas de explotación por bomba y caudales diarios extraídos en función del tiempo de explotación y avanzar en la construcción de un "tablero de comando" que le permita optimizar la combinación de producción de agua. De esta manera se favorecerá el reemplazo a tiempo de aquellas perforaciones que operen al límite en cuanto a parámetros de calidad y cantidad, como también la retroalimentación de la base de datos para generar nuevos escenarios y agilizar la toma de decisiones. El programa SOLVER constituye un buen soporte para la resolución del modelo propuesto, dado que se trata de una herramienta de gestión de fácil manejo e interpretación tendiente a favorecer la adecuada toma de decisiones. A través de su utilización la cooperativa podrá conocer la cantidad de horas que debería hacer trabajar cada bomba para llegar a un costo mínimo respetando las restricciones regulatorias. Si dispusiese de un comando telemétrico, podría alcanzar esta producción óptima de un modo automático.

Además debería recordarse que realizar mediciones de producción y registrar esas mediciones es uno de los parámetros que distingue a la nueva economía del agua, tendiente a gestionar la demanda.

Referencias Bibliográficas

Abril, J. C. (2004). Modelos para el Análisis de las Series de Tiempo. Colección: El número de Oro. Ediciones Cooperativas.

Aguilera Klink, F. (2007). Agua, medio ambiente y evaluación de los costes en la Directiva Marco Europea. Cuadernos del CENDES N° 66 . Tercera época. Septiembre – Diciembre 2007.

Aguilera Klink, F. (1998) "Hacia una nueva economía del agua: Cuestiones Fundamentales". Departamento de Economía Aplicada. Universidad de la Laguna. Tenerife (España).

Arellano, M. (2001): "Introducción al Análisis Clásico de Series de Tiempo", [en línea] *5campus.com, Estadística* <http://www.5campus.com/leccion/seriest.

Armando Aguirre, J. (1994). Introducción al Tratamiento de Series Temporales. Aplicación a las Ciencias de la Salud. Ediciones Díaz de Santos S.A.

Arreguin Cortés, F. 1994. Uso eficiente del agua en ciudades e industrias. UNESCO - ORCYT.

Arroyo, Carina. 2005. Estimación de la recarga en el sector de explotación del acuífero que abastece a la localidad de Quemú- Quemú, Provincia de La Pampa. Tesina de grado de la carrera Lic. En Geología. UNLPam. Director: Dr. Eduardo Mariño

Arroyo, C., J. Tullio. 2008. Informe sobre la construcción de las perforaciones nº 13 y 14 en Quemú- Quemú.

AUGM. 1998. Agua Problemática Regional. Enfoques y perspectivas en el aprovechamiento de recursos hidricos. Ed. Eudeba. Buenos Aires, Argentina. 187- 195.

Balestri, L. (1999) "Optimización sustentable del abastecimiento de agua potable a la ciudad de General Pico mediante una estrategia de precios". Tesis doctoral. Universidad de Córdoba (España).

Balestri, L., C. Schulz. 2005. El paradigma económico vigente en algunos prestadores del sevicio de agua en el norte de La Pampa. Conagua 2005. Mendoza.

Balestri, L., C. Schulz. Revisando los costos de los servicios de agua en la provincia de La Pampa (Argentina). Congreso Hidrológico .

Balestri, L. y Castro, E. 2009. Porque cooperativas de usuarios. VI Congreso Argentino de Hidrogeología. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

Bello, L. D., S. Martínez. Una metodología de series de tiempo para el área de salud – caso práctico. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2007; 25 (2): 117-122.

Bellini Saibene, Y.,Casagrande, G., Caviglia, J., Colazo, R., Lorda, H., Roberto, Z. y Sipowicz, A., 2002. Evaluación de pérdidas económicas por efecto de las inundaciones, en el norte de la provincia de la pampa. EEA INTA Anguil "Ing.Agr.Guillermo Covas".

Brooke, A. Et al. 1998. GAMS: User's Guide. GAMS Development co.

Calmels, A. P., 1996**.** Bosquejo Geomorfológico de La Provincia de La Pampa*.* UNLPam. Santa Rosa. 106 p.

Cano, E., G. Casagrande, H. A. Conti, B. Fernandez, R. Hevia, J. C. Lea Plaza, D. Maldonado Pinedo, H. Martínez, M. A. Montes y C. A. Peña Zubiate, 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. UNLPam, Santa Rosa.

CEPAL. Tendencias actuales de la gestión del agua en América Latina y el Caribe. Documento LC/L.1180. República dominicana, 1999, 98 p.

Chisari, O. Y Celani, M. 1996. Notas de análisis económico de la regulación de servicios públicos. UADE. Buenos Aires.

Coase, R. (1969): El problema del costo social. The Journal of Law and Economics. Octubre 1960. Londres

Desestacionalización de Series de Tiempos. Centro de Investigación y Desarrollo del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2002). Impreso: Talleres de la Oficina Técnica de Administración del INEI. Lima, Perú

Fernández Jauregui, C. 1994. Porqué un enfoque multidimensional. UNESCO - ORCYT. Méjico.

Fernández Jáuregui, C. A. 2001 La gestión de los recursos hídricos en América Latina. Desafíos Regionales. Actas CD Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Rosario, Argentina.

Ferran, M. V., M. Abelardo. (2007). Técnicas de Análisis y Pronósticos de Mercado. Versión Preliminar. Capítulo IV. Manual de Diseño y Evaluación de Proyectos Agropecuarios y Agroindustriales.

Ferreiro Chao, A., D. Azqueta Oyarzum, A. Myrick Freeman III, A. García Ferrer, P. Johansson. 1990. Ponencias de Seminario: Evaluación económica de los costos y beneficios de la mejora ambiental. Monografías de economía y medio ambiente. Nº 4. ISBN: 84-87294.39-1

Fischer, S., et al. 1989. Economía. Mc Graw Hill. Buenos Aires.

Foster, H. y Beattie, B. 1979. Urban residential demand for water in the United States. Land Economic 55.

Fourer, R., et al. 2000. AMPL: A modeling language for Mathematical Programming . The Scientific Press. 2nd ed.

Frank, R. 1977. Introducción al cálculo de costos agropecuarios. Editorial El Ateneo. Buenos Aires

Galindo, G., Herrero, M. A., Flores., Fernandez Turiel., 1999. Correlación de metales trazas en aguas subterráneas someras en la cuenca del Río Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Serie de Correlación Geológica, N°13, pág 251-261.

Gass, S. I, et al. 1995. Model World: The Spreadsheeting of OR/MS. Interfaces pp. 72-81. September-October.

Gass, S.L., C.M. Harris (eds). 2001. Encyclopeda of Operations Research and Managment Science. Centennial Edition. Kluwer Academic Publishers.

Giai, S. B., 1975. Plan de investigación de aguas subterráneas. Dirección de Aguas Subterráneas, 40 p, Santa Rosa (inédito).

Giai, S., J. Tullio. 1998 Características de los principales acuíferos de la Provincia de La Pampa. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente. Nº12- 51-68. Buenos Aires.

Goin, F., Montalvo, I. C. y Visconti, G., 2000. Los marsupiales (Mammalia) del Mioceno superior de la Formación Cerro Azul (provincia de La Pampa, Argentina). Estudios Geológicos, No. 56(1-2), p 101-126.

Griffin, A., et al. 1981. Urban residential demenda for water in the United States: Comment. Land Economics 57.

Guarch, J. L. 1992. Régimen tarifario. Un aporte para la discusión sectorial. Cuadernos técnicos del COFES. Buenos Aires.

Hillier, F.S., G. J. Lieberman. 1997. Introducción a la Investigación de Operaciones. McGraw Hill.

Howe, Ch. 1981. The impact of price on residential water demand: some new insights. University of Colorado.

Iribarra, M. 2004. Caracterización geoambiental en el área de Quemú Quemú con énfasis en los recursos hídricos. Tesis de grado para la obtención del título de Ing en Recursos Naturales y Medio Ambiente. UNLPam.

Iriondo, M., 1993**.** El Mar de Arena Pampeano. Museo Provincial de Ciencias Antropológicas, Informe interno PID-CONICET, Santa Fe (inédito).

Jaime Muñoz, R. 1994. El código de aguas de la República de Chile en el marco de una economía de mercado. UNESCO - ORCYT. Méjico.

Jensen, R., Marazzi M., Savioli, J., Brea, J. y Tavecchio, H., 2000. Diagnóstico de inundación en la región noreste de la Provincia de La Pampa, Argentina. Gobierno de la Provincia de La Pampa.

Kelso, Maurice. 1996. El síndrome de "El agua es diferente". Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid.

Linares, E., Llambías, E. J. y Latorre, C. O., 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. Asociación Geológica Argentina, Revista XXXV: 87-146.

Malán, J. M., 1983. “Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua potable a la localidad de General Pico, departamento Maracó, provincia de La Pampa. Informe Preliminar”. Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras, Actas III: 1449-1457, Olavaria

Malán, J. 1993. Informe sobre la construcción de tres nuevos pozos de producción para el servicio de agua potable de Quemú-Quemú. Administración Provincial del Agua. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. La Pampa

Malán, J.M., C.J.Schulz. 1988. Estudio Hidrogeológico para la Provisión de Agua Potable a Quemú-Quemú, La Pampa. Administración Provincial del Agua. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. La Pampa

Malán, J., C.J. Schulz. 1986. Informe de cuatro pozos de explotación en Quemú-Quemú. Administración Provincial del Agua. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. La Pampa

Marin, I., R. Palma, C. Lara. 1977. La programación lineal en el proceso de decisión. Ediciones Macchi.

McCarl, B.A, et al 1998. Applied Mathematical Programming using Algebraic Systems. Technical Report

Mocholí, M, et al. 1996. Decisiones de Optimización. Tirant lo Blanch. Valencia.

Mochon, F. y Beker, V. 1993. Economía, Principios y aplicaciones. Mc Graw Hill. Madrid

Molinero. L. M. 2004. Análisis de Series Temporales. Disponible en www.seh.lelha.org/stat.htm.

Montico, S. 2001. Cuencas rurales. Pautas y criterios para su ordenamiento. Ed UNR. Rosario. Argentina. 167 p

Pascual M., A. Dobson. Seasonal patterns of infectious diseases. PloS Md. 2005; 2(1): e5 (serie en internet). Disponible en http://medicine.plos.journals.org/.

Peña, Daniel. (1989). Estadística, Modelos y Métodos 2. Modelos Lineales y Series Temporales. Alianza Universidad, Madrid

Peña, D.; J. Romo. 1997. Introducción a la Estadística para la Ciencias Sociales. Editorial Mc Graw Hill, 1997

Postel, S. 1994. Implicaciones en la política pública. UNESCO - ORCYT. Méjico.

Robinson R. 1999. Welcome to OR Territory" OR/MS Today pp. 40-43 August.

Rodríguez Alcaide, J. J, et al. 1997. Gestión de la empresa agropecuaria de la Pampa arenosa. UCO. Córdoba.

Salso, J., 1966. La cuenca de Macachín, provincia de La Pampa. Asociación Geológica Argentina, Revista, XXI (2): 107-117.

Sarabia, A. 1996. La Investigación Operativa. UPCO.

Scharge, L. 1997. Optimization Modeling with LINDO. Duxbury Press.

Schulz, C. J., 1997. Plan de optimización del servicio de agua potable. 1 parte: Evaluación de Recurso. Informe interno COSYPRO. Quemú Quemú (Inédito).

Schulz, C, et al. 1998. El agua subterráea como factor de desarrollo económico y social en La Pampa-Experiencias Cooperativas. (Disponible en www. UNESCO. Org.uy)

Schulz C., et al. 2002. El agua potable en la provincia de La Pampa. Consecuencias por presencia de arsénico. Work Shop sobre arsénico en Aguas Subterráneas. XXXII Congreso Internacional de Hidrología Subterránea y V Congreso Latinoamericano de Aguas Subterráneas. Asociación Internacional de Hidrogeólogos y Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo, Mar del Plata, 21-25 de Octubre.

Schulz, C. 2002 "Análisis tarifario del consumo de agua potable de COSYPRO. Consumos y costos". Quemú Quemú, Provincia de La Pampa.

Schulz C., et al. 2005. Presencia de arsénico en las aguas subterráneas de La Pampa. IIº Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea y IVº Congreso Hidrogeológico Argentino, Río Cuarto, Argentina.

Sharda, R, ; G. Rampal. 1995. Algebraic Modeling Languages on PC. OR/MS Today pp. 58-63. June.

Solanes, M. 1996. Mercados de derechos de aguas: componentes institucionales. Revista de la CEPAL.

Taha, H. A. 1998. Investigación de Operaciones. Una introducción. Prentice Hall.

Tate, D. y Rivers R. 1994. Economía y cambio tecnológico: el enigma de los recursos del agua. UNESCO - ORCYT. Méjico.

Utton A. (1985), In Search of an Integrating Principle forInterstate Water Law: Regulation versus the Market Place, Natural Resources Journal, Vol. 25.17

Van Hentenryck, P. 1999. The OPL Optimization Programming Language. The MIT Press.

Velasco, E. 1995. El precio. Variable estratégica del marketing. Mc Graw Hill. Madrid

Visconti, G., Montalvo, C. I., Cardonatto, M. C. y Pugener, L. A., 1996**.** Análisis sedimentológico e interpretación paleoambiental de la Formación Cerro Azul (Mioceno tardío) en el valle Argentino, provincia de La Pampa. IV Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Comunicaciones: 86-88, Santa Rosa.

Wack, P. 2005. Un breve primer detonante sobre escenarios. ¿Qué, cuándo, por qué y cómo?. Canadá. Nacional Research Council. Otawa. Canadá. Traducción libre de Guillermina Baena Paz.

Williams, H.P. 1999. Model Building in Mathematical Programming. 4th Edition. John Wiley and Sons.

Winston, W. L. 1994. Investigación de Operaciones. Aplicaciones y Algoritmos. Grupo Editorial Iberoamericana.

Young, R. 1996. ¿Porqué hay tan pocas transacciones de agua? Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid.

Anexo

Tabla 1. Mediciones de Flúor

FECHA	P. Nº 4	P. Nº 6	P. Nº 7	P. Nº 8	P. Nº 9	P. Nº 10	P. Nº 11	P. Nº 12	P. Nº 13
08/10/97		1,21	1,85	2,7	1,38	1,77			
26/05/98	2,48	0,92		2,34	1,56	1,31			
13/10/98	2,7	0,9	1,22	2,62	1,11	1,24			
03/03/99	2,78	0,92	1,26	3,16	1,11	1,34			
22/06/99							0,85	1,11	
09/11/09	1,5	0,89	1,28	2,43	1,08	1,22			
08/02/00	2,78	0,92	1,3	2,76	1,14	1,4	1,27		
15/08/00	2,84	0,8	1,1	2,6	1,02	1,33	1		
20/02/01	3,04	0,96	1,32	1,19	1,11	1,32	1,22		
06/08/01	2,86	1,00	1,47				1,24		
28/10/02	2,94	0,82	1,16	2,61	1,13	1,36	1,49		
10/06/03	3,32	0,92	1,2	2,57	1,2	1,27	1,51		
07/05/04	3,36	0,81	1,35	2,62		1,4	1,58	0,7	
15/11/04	3,22	0,92	1,21	1,71	1,51	1,26		1,29	
14/06/05		0,93			1,18	1,36		1,14	
08/11/05	3,58	0,87	1,26	2,48	1,11	1,27	1,57		
03/05/06	3,14	0,9	1,33	1,66	1,21	1,3			
04/09/06	3,31	1	1,53	1,2	1,32				
10/04/07	3,17		1,38	2,93		1,34	1,86	1,21	
11/09/07	3,52	1,06	1,53	3,06	1,45	1,47	2,25	1,32	
19/11/07	3,71	0,94	1,27	2,76	1,2	1,18	1,67	1,24	
17/06/08	3,7	1,07	1,78		1,78	1,7	2,64	1,39	
17/06/08	3,68	1,03	1,57		1,47	1,48	2,07	1,31	
23/06/08				3,37					
23/06/08				2,88					
15/07/08	3,57	0,94	1,41	4,09	1,29	1,37	1,98	1,42	
25/11/08	5,15	0,97	1,45		1,42	1,35	1,91	1,37	
14/04/09	3,75	0,99			2,27	1,5	2,03	1,41	1,22
30/06/09	3,63	0,9	1,52		1,71	1,37	2,41	1,32	1,08
Promedio	**3,23875**	**0,9436**	**1,380435**	**2,5590476**	**1,33739**	**1,37125**	**1,6972222**	**1,248462**	**1,15**

Tabla 1 bis. Mediciones de Arsénico

FECHA	P. Nº 4	P. Nº 6	P. Nº 7	P. Nº 8	P. Nº 9	P. Nº 10	P. Nº 11	P. Nº 12	P. Nº 13
08/10/97		<0,04	0,04	0,07	<0,04	<0,04			
26/05/98	0,09	<0,04		0,07	<0,04	<0,04			
13/10/98	0,07	<0,04	<0,04	0,09	<0,04	<0,04			
03/03/99	0,08	<0,04	<0,04	0,11	<0,04	<0,04			
22/06/99							<0,04	<0,04	
09/11/09	0,06	0,04	0,04	0,08	<0,04	<0,04			
08/02/00	0,09	<0,04	<0,04	0,08	<0,04	<0,04	<0,04		
15/08/00	0,12	<0,04	<0,04	0,06	<0,04	0,04	<0,04		
20/02/01	0,12	<0,04	<0,04	0,06	<0,04	4	<0,04		
06/08/01	0,09	<0,04	<0,04				<0,04		
28/10/02	0,08	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04		
10/06/03	0,12	<0,04	<0,04	0,05	<0,04	<0,04	0,05		

07/05/04	0,14	<0,04	<0,04	0,09		0,05	0,05	<0,04	
15/11/04	0,15	0,1	0,04	0,06	<0,04	<0,04		<0,04	
14/06/05		<0,04			<0,04	<0,04		<0,04	
08/11/05	0,14	<0,04	<0,04	0,09	<0,04	<0,04	0,07		
03/05/06	0,13	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,04			
04/09/06	0,18	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04				
10/04/07	0,12		<0,04	0,09		<0,04	0,08	<0,04	
11/09/07	0,14	<0,04	0,04	0,1	<0,04	<0,04	0,13	<0,04	
19/11/07	0,15	<0,04	<0,04	0,11	<0,04	<0,04	0,1	<0,04	
17/06/08	0,2	<0,04	0,09		0,07	0,07	0,17	<0,04	
17/06/08	0,19	<0,04	0,07		0,04	0,06	0,12		
23/06/08				0,3					
23/06/08				0,15					
15/07/08	0,16	<0,04	0,05	0,49	<0,04	0,05	0,1	<0,04	
25/11/08	0,5	<0,04	<0,04		<0,04	<0,04	0,11	<0,04	
14/04/09	0,17	<0,04			0,1	0,07	0,12	0,04	<0,04
30/06/09	0,26	<0,04	0,07		0,08	0,06	0,06	0,04	<0,04
Promedio	**0,1479**	**0,07**	**0,055**	**0,119**	**0,0725**	**0,49333**	**0,0967**	**0,04**	**0,04**

Tabla 2. Consumos diarios en m^3

12/08		01/09		02/09	
FECHA	**CONSUMO**	**FECHA**	**CONSUMO**	**FECHA**	**CONSUMO**
1	1389	1	890	1	925
2	928	2	1109	2	949
3	1001	3	1076	3	884
4	1038	4	1079	4	816
5	1022	5	1050	5	833
6	1201	6	900	6	917
7	1200	7	1047	7	919
8	862	8	1043	8	916
9	854	9	1103	9	934
10	934	10	970	10	867
11	676	11	974	11	939
12	676	12	1042	12	919
13	1040	13	1061	13	889
14	1038	14	1011	14	980
15	1057	15	1025	15	934
16	1022	16	1036	16	916
17	908	17	1086	17	928
18	885	18	1045	18	944
19	964	19	1048	19	840
20	938	20	1002	20	810
21	938	21	954	21	814
22	900	22	950	22	812
23	1007	23	1038	23	855
24	1019	24	870	24	868
25	1020	25	890	25	905
26	1121	26	900	26	901
27	1001	27	961	27	945
28	1003	28	1025	28	927

29	1009		29	1018
30	983		30	1056
31	996		31	950

Tabla 3. Consumos mensuales en m^3

Fecha	Consumos	Fecha	Consumos
04/01	19776	06/05	22206
05/01	19552	07/05	23407
06/01	18936	08/05	24816
07/01	20059	09/05	24225
08/01	20007	10/05	27080
09/01	20922	11/05	27732
10/01	20653	12/05	29175
11/01	20740	01/06	27602
12/01	25240	02/06	24887
01/02	26358	03/06	24508
02/02	24340	04/06	24305
03/02	22273	05/06	24720
04/02	20128	06/06	22882
05/02	20092	07/06	23887
06/02	18975	08/06	23926
07/02	20038	09/06	23835
08/02	20561	10/06	22672
09/02	19961	11/06	24158
10/02	21493	12/06	26716
11/02	22173	01/07	27294
12/02	23977	02/07	23576
01/03	27428	03/07	23751
02/03	22487	04/07	22559
03/03	2324	05/07	2386

		6			8
04/03	0	1989	06/07	0	2305
05/03	0	2030	07/07	0	2373
06/03	0	2033	08/07	0	2415
07/03	0	2141	09/07	0	2414
08/03	0	2195	10/07	1	2338
09/03	0	2383	11/07	1	2492
10/03	1	2598	12/07	1	2964
11/03	1	2448	01/08	0	2681
12/03	1	2489	02/08	0	2465
01/04	0	2701	03/08	0	2481
02/04	0	2372	04/08	0	2277
03/04	0	2459	05/08	0	2556
04/04	0	2229	06/08	0	2487
05/04	0	2287	07/08	0	2603
06/04	0	2349	08/08	0	2641
07/04	0	2404	09/08	0	2036
08/04	0	2378	10/08	1	2715
09/04	0	2478	11/08	1	2759
10/04	1	2618	12/08	1	3063
11/04	1	2421	01/09	0	3102
12/04	1	2562	02/09	0	2499
01/05	0	2770	03/09	0	2655
02/05	0	2453	04/09	0	2665
03/05	0	2549	05/09	0	2651
04/05	0	2437	06/09	0	2550
05/05	0	2416	07/09	0	2746
			08/09	0	3218

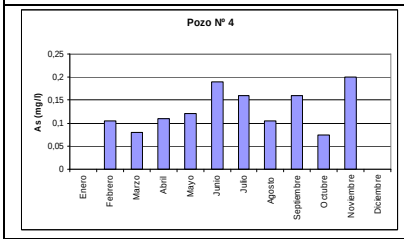
	0 2381 9/09 8

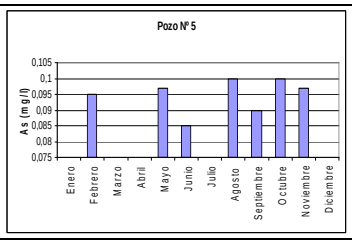
Tabla 4. Límites y valores guía de Flúor y Arsénico para Agua de Bebida según distintos organismos

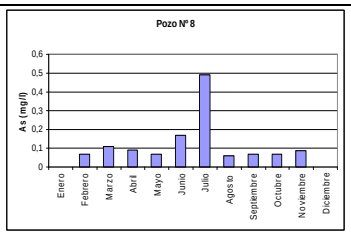
Organismos Nacionales e Internacionales		Arsénico	Flúor
OMS (Organización Mundial de la Salud)	Valor Guía Provisional	0,01 mg/l	1,5 mg/l
CAA (Código Alimentario Argentino, Ley Nº 18.284)	Concentración Máxima	0,01 mg/l	0,6-0,8 mg/l
Ley Provincial Nº 1027, Decreto R. Nº 193.	Concentración Máxima	0,15-0,18 mg/l	1,2-1,8 mg/l

Tabla 5. Evolución temporal de Arsénico y Flúor en pozos de abastecimiento en la localidad de Quemú Quemú

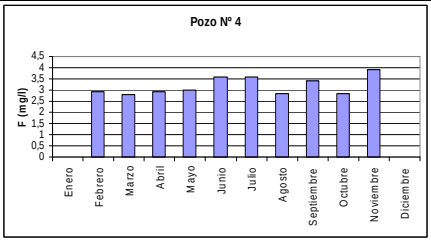
Arsénico

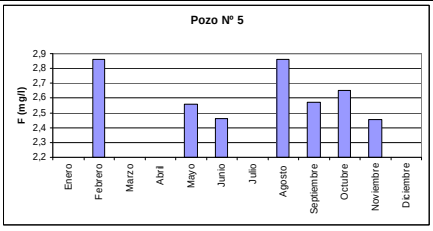


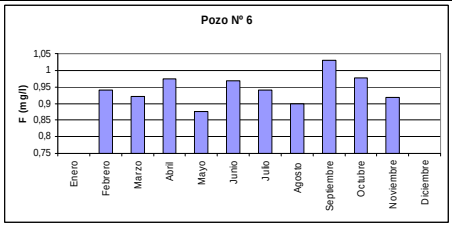


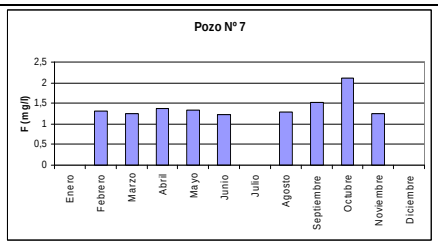


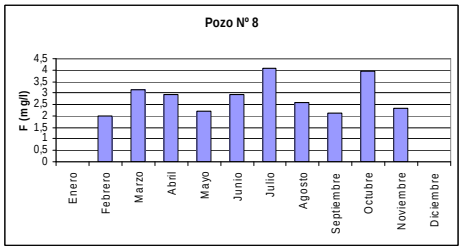
Flúor

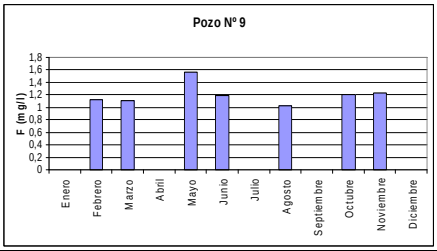


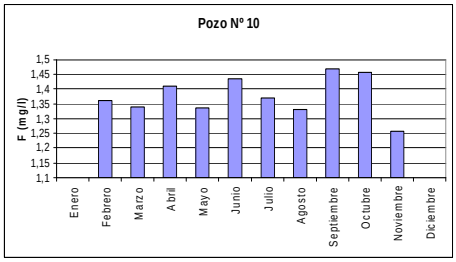


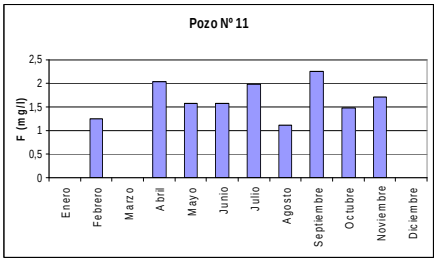












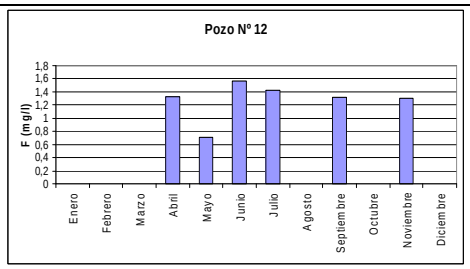


Tabla 6. Base de Datos para SOLVER

Perforación	Caudal teórico de extracción (m3/h)	Horas de Funcionamiento
Bomba 4	6,5	15
Bomba 6	8,98	15
Bomba 7	13,61	17,5
Bomba 9	4,8	17,5
Bomba 10	12,83	20,5
Bomba 11	12	20
Bomba 12	9,34	7
Bomba 13	11,66	15
Bomba 14	14,77	15
Totales		

Caudal diario de extracción	Energía consumida en KW/h	Energia total (kw/h *h)
97,5	1,8	27
134,7	1,8	27
238,175	1,8	31,5
84	0,9	15,75
263,015	1,2	24,6
240	1,8	36
65,38	1,2	8,4
174,9	1,2	18
221,55	1,2	18
1519,22		
Extracción Diaria: Caudal teórico x horas funcionam.		

Costo de Energía en la extracción	Promedio de F en pozo	Contenido de F extraído (F)
2,7	3,24	315,9
2,7	0,94	126,618
3,15	1,38	328,6815
1,575	1,34	112,56
2,46	1,37	360,33055
3,6	1,7	408
0,84	1,25	81,725
1,8	1,23	215,127
1,8	1,65	191,42
20,625		2140,36205
Costo= energía cosumida en 1 h x horas x precio		***Flúor extraído/día***= Promedio F x extracción diaria

Promedio de As	Contenido de As extraído (A)		
0,15	14,625		
0,07	9,429		
0,055	13,099625		
0,0725	6,09		
0,49	128,87735		
0,097	23,28		
0,04	2,6152		
0,024	4,1976		
0,045	7,0896		
	209,303375		
	f = F/ E (Flúor/m3)	1,4088559	**Flúor por m3 (f)**
	a = A/ E (Arsénico/m3)	0,1377703	**Arsénico por m3 (a)**

Informes de Respuestas de SOLVER

Informe Nº 1

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 16/06/2010 17:33:26

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	16,5	4,620483956

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0
C3	Bomba 6 Hs	15	0
C4	Bomba 7 Hs	17,5	0
C5	Bomba 9 Hs	17,5	0
C6	Bomba 10 Hs	20,5	12,07392396
C7	Bomba 11 Hs	20	0
C8	Bomba 12 Hs	7	7,515155841
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	15	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	0	D2<=200	Opcional	200
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	0	D3<=200	Opcional	200
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	0	D4<=200	Opcional	200
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	0	D5<=200	Opcional	200
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	154,9084444	D6<=200	Opcional	45,09155556
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	0	D7<=200	Opcional	200
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	70,19155556	D8<=200	Opcional	129,8084444
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=200	Opcional	25,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,177518356	L2<=1.8	Opcional	0,622481644
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,15	M2<=0.15	Obligatorio	0
D11	∑ Q'(m3/h)	600	D11>=600	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0	C2<=15	Opcional	15
C3	Bomba 6 Hs	0	C3<=15	Opcional	15
C4	Bomba 7 Hs	0	C4<=15	Opcional	15
C5	Bomba 9 Hs	0	C5<=15	Opcional	15
C6	Bomba 10 Hs	12,07392396	C6<=15	Opcional	2,926076037
C7	Bomba 11 Hs	0	C7<=15	Opcional	15
C8	Bomba 12 Hs	7,515155841	C8<=15	Opcional	7,484844159
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=15	Opcional	1,459038592

Informe Nº 2

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 16/06/2010 17:35:51

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	16,5	5,58228592

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0
C3	Bomba 6 Hs	15	0
C4	Bomba 7 Hs	17,5	0,42923138
C5	Bomba 9 Hs	17,5	0
C6	Bomba 10 Hs	20,5	13,96400319
C7	Bomba 11 Hs	20	0
C8	Bomba 12 Hs	7	15
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	15	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	0	D2<=200	Opcional	200
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	0	D3<=200	Opcional	200
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	5,84183908	D4<=200	Opcional	194,1581609
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	0	D5<=200	Opcional	200
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	179,1581609	D6<=200	Opcional	20,84183908
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	0	D7<=200	Opcional	200
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	140,1	D8<=200	Opcional	59,9
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=200	Opcional	25,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,193114883	L2<=1.8	Opcional	0,606885117
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,15	M2<=0.15	Obligatorio	0
D11	∑ Q'(m3/h)	700	D11>=700	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0	C2<=15	Opcional	15
C3	Bomba 6 Hs	0	C3<=15	Opcional	15
C4	Bomba 7 Hs	0,42923138	C4<=15	Opcional	14,57076862
C5	Bomba 9 Hs	0	C5<=15	Opcional	15
C6	Bomba 10 Hs	13,96400319	C6<=15	Opcional	1,035996811
C7	Bomba 11 Hs	0	C7<=15	Opcional	15
C8	Bomba 12 Hs	15	C8<=15	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=15	Opcional	1,459038592

Informe Nº 3

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 16/06/2010 17:41:57

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	16,5	6,599153456

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0
C3	Bomba 6 Hs	15	0
C4	Bomba 7 Hs	17,5	6,800146951
C5	Bomba 9 Hs	17,5	0
C6	Bomba 10 Hs	20,5	15
C7	Bomba 11 Hs	20	0
C8	Bomba 12 Hs	7	15
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	15	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	0	D2<=200	Opcional	200
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	0	D3<=200	Opcional	200
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	92,55	D4<=200	Opcional	107,45
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	0	D5<=200	Opcional	200
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	192,45	D6<=200	Opcional	7,55
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	0	D7<=200	Opcional	200
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	140,1	D8<=200	Opcional	59,9
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=200	Opcional	25,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,216309375	L2<=1.8	Opcional	0,583690625
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,145352438	M2<=0.15	Opcional	0,004647563
D11	∑ Q'(m3/h)	800	D11>=800	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0	C2<=15	Opcional	15
C3	Bomba 6 Hs	0	C3<=15	Opcional	15
C4	Bomba 7 Hs	6,800146951	C4<=15	Opcional	8,199853049
C5	Bomba 9 Hs	0	C5<=15	Opcional	15
C6	Bomba 10 Hs	15	C6<=15	Obligatorio	0
C7	Bomba 11 Hs	0	C7<=15	Opcional	15
C8	Bomba 12 Hs	15	C8<=15	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=15	Opcional	1,459038592

Informe Nº 4

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 16/06/2010 17:42:50

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	16,5	7,657199007

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0
C3	Bomba 6 Hs	15	0
C4	Bomba 7 Hs	17,5	14,1476855
C5	Bomba 9 Hs	17,5	0
C6	Bomba 10 Hs	20,5	15
C7	Bomba 11 Hs	20	0
C8	Bomba 12 Hs	7	15
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	15	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	0	D2<=200	Opcional	200
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	0	D3<=200	Opcional	200
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	192,5499996	D4<=200	Opcional	7,450000376
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	0	D5<=200	Opcional	200
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	192,45	D6<=200	Opcional	7,55
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	0	D7<=200	Opcional	200
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	140,1	D8<=200	Opcional	59,9
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=200	Opcional	25,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,234497222	L2<=1.8	Opcional	0,565502778
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,135313278	M2<=0.15	Opcional	0,014686722
D11	∑ Q'(m3/h)	899,9999996	D11>=900	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0	C2<=15	Opcional	15
C3	Bomba 6 Hs	0	C3<=15	Opcional	15
C4	Bomba 7 Hs	14,1476855	C4<=15	Opcional	0,852314502
C5	Bomba 9 Hs	0	C5<=15	Opcional	15
C6	Bomba 10 Hs	15	C6<=15	Obligatorio	0
C7	Bomba 11 Hs	0	C7<=15	Opcional	15
C8	Bomba 12 Hs	15	C8<=15	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=15	Opcional	1,459038592

Informe Nº 5

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 16/06/2010 17:43:39

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	16,5	8,846623404

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0
C3	Bomba 6 Hs	15	0
C4	Bomba 7 Hs	17,5	14,69507715
C5	Bomba 9 Hs	17,5	0
C6	Bomba 10 Hs	20,5	15
C7	Bomba 11 Hs	20	7,712499993
C8	Bomba 12 Hs	7	15
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	15	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	0	D2<=200	Opcional	200
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	0	D3<=200	Opcional	200
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	200	D4<=200	Obligatorio	0
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	0	D5<=200	Opcional	200
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	192,45	D6<=200	Opcional	7,55
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	92,54999992	D7<=200	Opcional	107,4500001
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	140,1	D8<=200	Opcional	59,9
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=200	Opcional	25,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,2786635	L2<=1.8	Opcional	0,5213365
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,13116905	M2<=0.15	Opcional	0,01883095
D11	∑ Q'(m3/h)	999,9999999	D11>=1000	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0	C2<=15	Opcional	15
C3	Bomba 6 Hs	0	C3<=15	Opcional	15
C4	Bomba 7 Hs	14,69507715	C4<=15	Opcional	0,304922851
C5	Bomba 9 Hs	0	C5<=15	Opcional	15
C6	Bomba 10 Hs	15	C6<=15	Obligatorio	0
C7	Bomba 11 Hs	7,712499993	C7<=15	Opcional	7,287500007
C8	Bomba 12 Hs	15	C8<=15	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=15	Opcional	1,459038592

Informe Nº 6

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 16/06/2010 17:44:51

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	16,5	10,08427341

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0
C3	Bomba 6 Hs	15	0
C4	Bomba 7 Hs	17,5	14,69507715
C5	Bomba 9 Hs	17,5	2,614583361
C6	Bomba 10 Hs	20,5	15
C7	Bomba 11 Hs	20	15
C8	Bomba 12 Hs	7	15
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	15	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	0	D2<=200	Opcional	200
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	0	D3<=200	Opcional	200
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	200	D4<=200	Obligatorio	0
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	12,55000014	D5<=200	Opcional	187,4499999
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	192,45	D6<=200	Opcional	7,55
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	180	D7<=200	Opcional	20
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	140,1	D8<=200	Opcional	59,9
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=200	Opcional	25,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,312859545	L2<=1.8	Opcional	0,487140455
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,12778325	M2<=0.15	Opcional	0,02221675
D11	∑ Q'(m3/h)	1100	D11>=1100	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0	C2<=15	Opcional	15
C3	Bomba 6 Hs	0	C3<=15	Opcional	15
C4	Bomba 7 Hs	14,69507715	C4<=15	Opcional	0,304922851
C5	Bomba 9 Hs	2,614583361	C5<=15	Opcional	12,38541664
C6	Bomba 10 Hs	15	C6<=15	Obligatorio	0
C7	Bomba 11 Hs	15	C7<=15	Obligatorio	0
C8	Bomba 12 Hs	15	C8<=15	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=15	Opcional	1,459038592

Informe Nº 7

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 16/06/2010 17:45:38

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	16,5	11,62626839

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0
C3	Bomba 6 Hs	15	4,5155902
C4	Bomba 7 Hs	17,5	14,69507715
C5	Bomba 9 Hs	17,5	15
C6	Bomba 10 Hs	20,5	15
C7	Bomba 11 Hs	20	15
C8	Bomba 12 Hs	7	15
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	15	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	0	D2<=200	Opcional	200
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	40,55	D3<=200	Opcional	159,45
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	200	D4<=200	Obligatorio	0
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	72	D5<=200	Opcional	128
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	192,45	D6<=200	Opcional	7,55
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	180	D7<=200	Opcional	20
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	140,1	D8<=200	Opcional	59,9
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=200	Opcional	25,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,301604583	L2<=1.8	Opcional	0,498395417
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,123091833	M2<=0.15	Opcional	0,026908167
D11	∑ Q'(m3/h)	1200	D11>=1200	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0	C2<=15	Opcional	15
C3	Bomba 6 Hs	4,5155902	C3<=15	Opcional	10,4844098
C4	Bomba 7 Hs	14,69507715	C4<=15	Opcional	0,304922851
C5	Bomba 9 Hs	15	C5<=15	Obligatorio	0
C6	Bomba 10 Hs	15	C6<=15	Obligatorio	0
C7	Bomba 11 Hs	15	C7<=15	Obligatorio	0
C8	Bomba 12 Hs	15	C8<=15	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=15	Opcional	1,459038592

Informe Nº 8

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 16/06/2010 17:55:58

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	15,6999323	13,26562341

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0,900000035
C3	Bomba 6 Hs	15	15
C4	Bomba 7 Hs	17,5	14,69507715
C5	Bomba 9 Hs	15	15
C6	Bomba 10 Hs	15	15
C7	Bomba 11 Hs	15	15
C8	Bomba 12 Hs	15	15
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	5,850000226	D2<=200	Opcional	194,1499998
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	134,7	D3<=200	Opcional	65,3
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	200	D4<=200	Obligatorio	0
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	72	D5<=200	Opcional	128
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	192,45	D6<=200	Opcional	7,55
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	180	D7<=200	Opcional	20
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	140,1	D8<=200	Opcional	59,9
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=200	Opcional	25,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,284138846	L2<=1.8	Opcional	0,515861154
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,119367846	M2<=0.15	Opcional	0,030632154
D11	∑ Q'(m3/h)	1300	D11>=1300	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0,900000035	C2<=15	Opcional	14,09999997
C3	Bomba 6 Hs	15	C3<=15	Obligatorio	0
C4	Bomba 7 Hs	14,69507715	C4<=15	Opcional	0,304922851
C5	Bomba 9 Hs	15	C5<=15	Obligatorio	0
C6	Bomba 10 Hs	15	C6<=15	Obligatorio	0
C7	Bomba 11 Hs	15	C7<=15	Obligatorio	0
C8	Bomba 12 Hs	15	C8<=15	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=15	Opcional	1,459038592

Informe Nº 9

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 22/06/2010 21:28:07

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	16,5	14,31603537

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	15	0
C3	Bomba 6 Hs	15	16,20044543
C4	Bomba 7 Hs	17,5	14,69507715
C5	Bomba 9 Hs	17,5	18
C6	Bomba 10 Hs	20,5	15,58846454
C7	Bomba 11 Hs	20	16,66666667
C8	Bomba 12 Hs	7	18
C9	Bomba 13 Hs	15	17,15265866
C10	Bomba 14 Hs	15	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	0	D2<=200	Opcional	200
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	145,4799999	D3<=200	Opcional	54,52000006
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	200	D4<=200	Obligatorio	0
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	86,4	D5<=200	Opcional	113,6
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	200	D6<=200	Obligatorio	0
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	200	D7<=200	Obligatorio	0
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	168,12	D8<=200	Opcional	31,88
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	200	D9<=200	Obligatorio	0
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,278640857	L2<=2	Opcional	0,721359143
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,116758571	M2<=0.15	Opcional	0,033241429
D11	∑ Q'(m3/h)	1400	D11>=1400	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	0	C2<=18	Opcional	18
C3	Bomba 6 Hs	16,20044543	C3<=18	Opcional	1,799554573
C4	Bomba 7 Hs	14,69507715	C4<=18	Opcional	3,304922851
C5	Bomba 9 Hs	18	C5<=18	Obligatorio	0
C6	Bomba 10 Hs	15,58846454	C6<=18	Opcional	2,411535464
C7	Bomba 11 Hs	16,66666667	C7<=18	Opcional	1,333333333
C8	Bomba 12 Hs	18	C8<=18	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	17,15265866	C9<=18	Opcional	0,847341338
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=18	Opcional	4,459038592

Informe Nº 10

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 22/06/2010 21:30:33

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	14,31603537	16,4325497

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	0	12,89846159
C3	Bomba 6 Hs	16,20044543	18
C4	Bomba 7 Hs	14,69507715	14,69507715
C5	Bomba 9 Hs	18	18
C6	Bomba 10 Hs	15,58846454	15,58846454
C7	Bomba 11 Hs	16,66666667	16,66666667
C8	Bomba 12 Hs	18	18
C9	Bomba 13 Hs	17,15265866	17,15265866
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	13,54096141

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	83,84000036	D2<=200	Opcional	116,1599996
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	161,64	D3<=200	Opcional	38,36
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	200	D4<=200	Obligatorio	0
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	86,4	D5<=200	Opcional	113,6
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	200	D6<=200	Obligatorio	0
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	200	D7<=200	Obligatorio	0
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	168,12	D8<=200	Opcional	31,88
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	200	D9<=200	Obligatorio	0
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	200	D10<=200	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,384619467	L2<=2	Opcional	0,615380533
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,1181128	M2<=0.15	Opcional	0,0318872
D11	∑ Q'(m3/h)	1500	D11>=1500	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	12,89846159	C2<=18	Opcional	5,101538406
C3	Bomba 6 Hs	18	C3<=18	Obligatorio	0
C4	Bomba 7 Hs	14,69507715	C4<=18	Opcional	3,304922851
C5	Bomba 9 Hs	18	C5<=18	Obligatorio	0
C6	Bomba 10 Hs	15,58846454	C6<=18	Opcional	2,411535464
C7	Bomba 11 Hs	16,66666667	C7<=18	Opcional	1,333333333
C8	Bomba 12 Hs	18	C8<=18	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	17,15265866	C9<=18	Opcional	0,847341338
C10	Bomba 14 Hs	13,54096141	C10<=18	Opcional	4,459038592

Informe Nº 11

Microsoft Excel 11.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Solver NUEVO.xls]Base de Datos
Informe creado: 22/06/2010 21:38:03

Celda objetivo (Mínimo)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
G11	∑ Ci ($/Kw)	15,09563077	15,11989476

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
C2	Bomba 4 Hs	12,33076924	12,56923079
C3	Bomba 6 Hs	15	15
C4	Bomba 7 Hs	15	15
C5	Bomba 9 Hs	15	15
C6	Bomba 10 Hs	15	15
C7	Bomba 11 Hs	15	15
C8	Bomba 12 Hs	15	15
C9	Bomba 13 Hs	15	15
C10	Bomba 14 Hs	15	14,89505755

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia
D2	Bomba 4 Q'(m3/h)	81,70000013	D2<=220	Opcional	138,2999999
D3	Bomba 6 Q'(m3/h)	134,7	D3<=220	Opcional	85,3
D4	Bomba 7 Q'(m3/h)	204,15	D4<=220	Opcional	15,85
D5	Bomba 9 Q'(m3/h)	72	D5<=220	Opcional	148
D6	Bomba 10 Q'(m3/h)	192,45	D6<=220	Opcional	27,55
D7	Bomba 11 Q'(m3/h)	180	D7<=220	Opcional	40
D8	Bomba 12 Q'(m3/h)	140,1	D8<=220	Opcional	79,9
D9	Bomba 13 Q'(m3/h)	174,9	D9<=220	Opcional	45,1
D10	Bomba 14 Q'(m3/h)	220	D10<=220	Obligatorio	0
L2	Bomba 4 f = F/ E (Flúor/m3)	1,372043929	L2<=2	Opcional	0,627956071
M2	Bomba 4 a = A/ E (Arsénico/m3)	0,119131393	M2<=0.15	Opcional	0,030868607
D11	∑ Q'(m3/h)	1400	D11>=1400	Obligatorio	0
C2	Bomba 4 Hs	12,56923079	C2<=15	Opcional	2,430769211
C3	Bomba 6 Hs	15	C3<=15	Obligatorio	0
C4	Bomba 7 Hs	15	C4<=15	Obligatorio	0
C5	Bomba 9 Hs	15	C5<=15	Obligatorio	0
C6	Bomba 10 Hs	15	C6<=15	Obligatorio	0
C7	Bomba 11 Hs	15	C7<=15	Obligatorio	0
C8	Bomba 12 Hs	15	C8<=15	Obligatorio	0
C9	Bomba 13 Hs	15	C9<=15	Obligatorio	0
C10	Bomba 14 Hs	14,89505755	C10<=15	Opcional	0,104942451