

**MODELOS DE SIMULACIÓN
POR ORDENADOR**

**HACIA UNA HERRAMIENTA ÚTIL PARA LA GESTIÓN MUNICIPAL
DEL AGUA Y EL SANEAMIENTO**

**Antonio Caselles Moncho
Mario Alejandro Nudelman
(eds.)**

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

MODELOS DE SIMULACIÓN POR ORDENADOR

Hacia una herramienta útil para la Gestión Municipal del Agua y el Saneamiento.

Dr. Antonio Caselles Moncho y Mg. Arq. Mario Alejandro Nudelman
Editores

Con la participación de:
Rafael Pla López, Doctor en Matemáticas
Nancy Romea, Doctora en Pedagogía
Carlos Schenone, Ingeniero en Sistemas

Con la colaboración de:
Inés Vince de Rodrigo, Arquitecta





Este texto ha sido diseñado después de la realización de un curso de postgrado en la Universidad de Entre Ríos (Argentina) por un equipo de profesores de dicha universidad y de la Universitat de València (España), con una ayuda de la Agencia Española de Cooperación Internacional en el marco de la convocatoria realizada por Resolución de 6 de Julio de 2007, publicada en el Boletín Oficial del Estado de 23 de Julio.

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado –electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etc.–, sin el permiso previo de los titulares de los derechos de la propiedad intelectual.

© Los autores

© Publicacions de la Universitat de València, 2009

ISBN: 978-84-370-7464-1

Depósito legal: V-1898-2009

Edición digital

Contenido

Prefacio	5
Actualidad del pensamiento sistémico	8
<i>Rafael Pla López. Departament de Matemàtica Aplicada de la Universitat de València (España)</i>	
Modelos de Simulación por ordenador: una herramienta incisiva para intervenciones pertinentes en el campo de los Asentamientos Humanos	14
<i>Mg. Arq. Mario Nudelman. CEGELAH, UADER (Argentina)</i>	
Del paradigma mecanicista de la ciencia al paradigma sistémico	26
<i>Lorenzo Ferrer Figueras. Universitat de València / Ajuntament de València. 1997. Guía didáctica</i>	
<i>Rafael Pla López. Departament de Matemàtica Aplicada de la Universitat de València (España)</i>	
Modelización y simulación de sistemas complejos	35
<i>Antonio Caselles Moncho. Departament de Matemàtica Aplicada. Universitat de València. España</i>	
Capacitando al Usuario, una materia pendiente. Recomendaciones para la transferencia de modelos de simulación a nivel de usuario	168
<i>Dra. Nancy Romea de Nudelman</i>	
Modelos de simulación orientados al usuario: análisis de la interfase de los modelos desarrollados por el Grupo de Ssistemas Generales de la Universidad de Valencia	176
<i>Carlos Schenone. Ingeniero en Sistemas del CEGELAH/FCYT (Argentina)</i>	
Modelización de un sistema que represente el impacto de diferentes campañas publicitarias, orientadas a la concientización de la población, en la reducción del Consumo de Agua y en la Reparación de Pérdidas Domiciliarias	212
<i>Roberto LELL, Luis PORCARO, Carlos SEDANO, Nora TRUJILLO, José ZUFIAURRE, Antonio CASELLES</i>	
Simulación de la variación del consumo efectivo de agua potable por manzana	235
<i>Javier E Cortes: Ingeniero Industrial</i>	
<i>Rosana Gregorutti: Ingeniera en Construcciones</i>	
<i>Sr. Luis Daniel Acosta. Dr. Antonio Caselles Moncho</i>	
Conclusiones generales	275

Prefacio

Resulta altamente satisfactorio para todos los profesionales participantes en esta importante publicación poder plasmar lo actuado dentro del Proyecto de Cooperación Interuniversitaria ejecutado en forma conjunta por el experimentado Grupo de Sistemas Generales (GSG-UV) de la Facultad de Matemáticas de la Universidad de Valencia (España) y el joven Centro para la Gestión Local Sostenible del Agua y el Hábitat Humano (CEGELAH-UADER) de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Entre Ríos (Argentina).

La satisfacción primera proviene de visualizar la capacidad que ambos Coordinadores de Proyecto han tenido para prolongar a lo largo del tiempo la fecunda relación entre Co-Director (Antonio Caselles Moncho) y Doctorando (Mario Alejandro Nudelman) dentro del Programa doctoral Ingeniería Hidráulica y Medioambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, donde Antonio Caselles desplegó toda su experiencia en la metodología de diseño de modelos de simulación por ordenador, aplicándola al tema de tesis doctoral “Modelos de Simulación de la Sostenibilidad del Ciclo Urbano del Agua aplicable a municipios de regiones en vías de desarrollo”, trabajo que se espera terminar este 2009 y que viene ejecutándose desde el año 2004.

La segunda satisfacción es poder ver plasmada esta relación en un Proyecto que mereció el apoyo económico de la prestigiosa Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo para el año 2008. Hecho que, en la orilla europea del proyecto no deja de tener su relevancia, a la que se suma a un amplio abanico de proyectos aprobados para la Universidad de Valencia como contraparte, pero que en la orilla sudamericana del mismo, cobró dimensiones de alto vuelo al ser el único proyecto aprobado para la joven Universidad Autónoma de Entre Ríos, enrolada en dicha convocatoria entre las más importantes Universidades de Argentina y Latinoamérica.

Y, la tercera, para resumir un importante listado que podría redactarse como parte de esta apasionante actividad de Investigación y Desarrollo en la que coordinadores y participantes han tenido el verdadero placer de dar vida, es que esta publicación tiene vocación de servicio. Será, como lo podrán percibir los lectores, una contribución de fuste a la hora de transmitir tecnología de la información a las organizaciones municipales. Estos municipios forman parte de los Actores Sociales centrales a los que va dirigida las acciones de I+D del CEGELAH-UADER, especialmente en el campo de la planificación del sector del agua y el saneamiento, donde se están dando los primeros pasos⁽¹⁾. La relevancia de este servicio es la de estimular y favorecer procesos locales participativos para la toma de decisiones en torno a un recurso altamente cotizado en el planeta: el agua. Para ello es

necesario contar con evidencias técnica y científicamente fundadas para que dichas soluciones sean sostenibles.

Estos pasos si bien se los está dando en relación a la problemática de los abastecimientos de agua en tres Municipios de Referencia de la Provincia de Entre Ríos: Nogoyá, La Paz y Crespo, el acento de los mismos está puesto en la formación de recursos humanos que permitan al novel CEGELAH-UADER cumplir sus objetivos de I+D con responsabilidad y solvencia intelectual.

Es así que puede vislumbrarse una vocación de servicio a largo aliento, justamente el horizonte donde se sitúa cualquier objetivo de sostenibilidad: el mediano y largo plazo. Para satisfacer este elevado requerimiento es que el Proyecto ha servido para nutrir a profesionales e integrantes del CEGELAH-UADER de los conocimientos y experiencia dilatada del GSG-UV y de la Escuela de Investigación Operativa de la misma Universidad.

En los temas que nos competen, esta publicación rescatará primero una sistematizada presentación de las principales experiencias en tierras valencianas en cuanto a transferencias de herramientas y programas informáticos a los municipios. Dicha sistematización está fundada en la visión que el CEGELAH/FCYT tiene de los Modelos de Simulación en función de su temática prioritaria de I+D. Esto abarcará tanto experiencias propias del GSG-UV y la Escuela de Investigación Operativa con municipios valencianos, como experiencias más recientes de consultoras privadas y del gobierno valenciano. El objetivo general de esta sistematización de experiencias es extraer enseñanzas que permitan definir de manera precisa un perfil exitoso de transferencia. Esta primera parte es el resultado de una pasantía recientemente realizada por miembros del CEGELAH-UADER en la sede del GSG-UV en Valencia.

La segunda parte está centrada en la transmisión de conocimientos dentro del Curso de Posgrado en gestión sostenible del agua en pequeños municipios: Modelos de Simulación por ordenador, donde docentes del CEGELAH-UADER brindaron un conjunto de conocimientos y herramientas introductorias y los docentes del GSG-UV impartieron una Introducción al pensamiento sistémico y la Metodología para el diseño de Modelos de Simulación basados en la Teoría General de Sistemas.

La tercera parte muestra los productos producidos en dicho Posgrado por los alumnos participantes, donde se desarrollaron aplicaciones que intentan responder a situaciones problema de la gestión del agua en los municipios de referencia y que están basados en información del Municipio de Crespo (Entre Ríos-Argentina).

El proyecto en su conjunto y la pasantía en Valencia han resultado una experiencia humana e intelectual exitosa, y son justamente los aspectos destacables del mismo lo que los coordinadores y coautores participantes han tratado de volcar en esta publicación. Y, como en toda empresa humana, los logros han sido el fruto de la cooperación de un importante número de personas a las que se quiso agradecer explícitamente en este afectuoso listado que no implica orden de prioridad alguno:

- Don Lorenzo Ferrer Figueras, Presidente de la Sociedad Española de Sistemas Generales.
- Don Marino Schneeberger, Decano de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UADER.

- Don Pablo Aceñolaza, Secretario de PosGrados de la FCYT/UADER
- Dña. Amalia López, Secretaria del Depto. de Matemática Aplicada de la Universidad de Valencia (UV).
- Secretaria de la Escuela de Investigación Operativa de la UV.
- Don Andrés Parreño, Gerente de la Consultora TLP Consulting.
- Dña Miriam Eibar de la Encina Coordinadora del Programa Internauta de la Generalitat Valenciana.
- Los responsables del Servicio del Colegio Mayor Rector Peset de la Universidad de Valencia.
- Gerente de la Empresa de Software encargada del diseño y actualización del Programa GVGIS.
- Don Fabián Molinas Mirabet, Concejal del Ayuntamiento de Azuébar (VAL, España)
- Ex Alcalde del Ayuntamiento de Soneja (VAL, España).
- Don Claudio Accornero, Secretario de Servicios Públicos del Municipio de Crespo (ER, Argentina).
- Dña. Laura Leites, Responsable de Calidad del Agua del Municipio de La Paz (ER, Argentina).
- Don Daniel Rocca, Técnico del Municipio de Nogoyá (ER, Argentina).

Los motivos del agradecimiento son múltiples, desde el apoyo institucional y económico, la disposición de tiempo, el compartir información y bibliografía, el acceso a valiosos tesoros de experiencias prácticas, el laborioso apoyo administrativo, la recepción y servicio eficiente en la residencia universitaria, el entusiasmo y capacidad de trabajo, los afectos y confianzas manifestados de mil y una manera.

Confía el equipo de redacción que esta publicación será sin duda una prestigiosa expresión de la cooperación interuniversitaria entre dos Universidades Iberoamericanas orientada a mejorar el desempeño de los gobiernos locales en el estratégico sector del agua y el saneamiento.

⁽¹⁾ Recientemente se ha terminado un primer proyecto anual de I+D y la UADER acaba de terminar de aprobar otros dos. A esto se le suman un interesante conjunto de proyectos de consultoría presentados a con curso o en vías de financiación. El CEGELAH para su primer trienio a priorizado la formación de sus recursos humanos, razón por la cual ha puesto en marcha actualmente tres cursos de posgrados dentro de la temática de la gestión sostenible del agua en los municipios.

Actualidad del pensamiento sistémico

Rafael Pla López

Departament de Matemàtica Aplicada de la Universitat de València

En el curso que estamos impartiendo en la Universidad de Entre Ríos hablamos del proceso que va "[Del Paradigma Mecanicista de la Ciencia al Paradigma Sistémico](#)". Explicamos la emergencia del Paradigma Sistémico como una respuesta a la crisis y a las limitaciones del Paradigma Mecanicista que ha venido rigiendo la actividad científica tradicional hasta el siglo XX. En esta conferencia, para hablar de la actualidad del Pensamiento Sistémico, de la significación del Pensamiento Sistémico en la actualidad, será oportuno situar dicha significación en el marco de la crisis social y económica que ha tenido a finales de septiembre una expresión dramática en el estallido de la crisis financiera global. No es casual, en efecto, que el día 1 de este mes de octubre de 2008 el secretario general de la OCDE, **Ángel Gurría**, haya sugerido "*empezar a pensar en un plan sistémico para Europa si las cosas no mejoran al otro lado del Atlántico*", dado que a su juicio "*un enfoque parcial de los problemas no funcionará*" (diario "[Público](#)", 2-10-08).

Lo cierto es que el Paradigma Mecanicista eclosionó en el marco de la Revolución Científica del siglo XVI, a raíz del llamado "Renacimiento" en Europa que dio paso de la Edad Media a la Edad Moderna. Con ello tiene lugar el ascenso de la burguesía y del mercado, que darían lugar en los siglos siguientes a la implantación y posterior generalización del sistema económico capitalista. Este proceso supondría la superación del viejo "Holismo" que pretendía aprehender directamente las totalidades, así como del sistema feudal que supeditaba la actividad económica a la dominación política. La fragmentación de la propiedad en una miríada de propietarios independientes, aspirando a comerciar libremente entre ellos, tendría su correlato en la descomposición de la realidad en una miríada de "hechos" y propiedades estudiados de forma separada por las distintas disciplinas científicas emergentes. El conocimiento científico se entendería como la simple suma de conocimientos parciales de aspectos particulares. Y del mismo modo, el liberalismo económico vinculado a la revolución burguesa presuponía que la "mano muerta" del mercado armonizaría espontáneamente las acciones de múltiples agentes económicos persiguiendo de forma independiente sus propios intereses. En el fondo subyace la convicción, en uno y otro caso, de que el todo es reducible a la suma de sus partes.

Ahora sabemos, sin embargo, que ello no es cierto. Que superado un cierto umbral de complejidad, el conocimiento por separado de las partes no es suficiente para comprender la totalidad. Y que la actuación de una multiplicidad de agentes desde el desconocimiento recíproco puede conducir a un caos en el que se frustren los objetivos de todos ellos.

Y lo cierto es que dicho umbral de complejidad está, en ocasiones, muy bajo. En Mecánica, las leyes de la gravitación permiten predecir el movimiento de 2 cuerpos, pero el [problema de 3 cuerpos](#) en interacción gravitatoria ya no puede resolverse de forma completa y general

por métodos analíticos. En Teoría de la Decisión, el conocido [dilema del preso](#) muestra los inconvenientes de tomar decisiones al margen de los demás. Recordemos en qué consiste: se ofrece a 2 presos la opción de denunciar al otro, advirtiéndoles que

- si ninguno denuncia tendrán ambos 1 año de cárcel,
- si únicamente uno denuncia al otro, el denunciador saldrá libre y el denunciado habrá de penar 5 años de prisión,
- si ambos se denuncian recíprocamente, se quedarán ambos 3 años encarcelados.

Aplicando la teoría clásica de la decisión supuestamente "racional", ambos presos razonarían que, con independencia de lo que haga el otro, le conviene denunciarlo. En efecto, si el otro no le denuncia, la mejor opción sería denunciarlo y así salir libre en vez de purgar 1 año de condena. Pero si el otro le denuncia, la mejor opción sería también denunciarlo y así ser condenado a 3 años en vez de a 5. De modo que si ambos siguen dicho razonamiento, ambos se denunciarán recíprocamente, quedando con 3 años de cárcel, mientras que si hubieran coincidido en la negativa a denunciar habrían salido libres en 1 año. De hecho, la denuncia recíproca es también en este caso el llamado [equilibrio de Nash](#), la situación en la que ninguno puede mejorar cambiando unilateralmente su decisión.

La alternativa favorable, naturalmente, sería que ambos presos se pusieran previamente de acuerdo confiando el uno en el otro. Pero ello exige cambiar el principio de la competencia desde el egoísmo insolidario por el principio de la cooperación.

Hay que señalar que durante el período de vigencia del Paradigma Mecanicista y el correlativo ascenso del capitalismo han menudeado las muestras de insatisfacción, tanto con las limitaciones del primero como con las injusticias derivadas del segundo. Pero hasta finales del siglo XX no se disponía de los instrumentos teóricos y prácticos necesarios para su superación.

El mismo Karl Marx fue un precursor del Pensamiento Sistémico, con su propuesta de una Dialéctica que permitiera abordar la globalidad de los procesos evolutivos superando su fraccionamiento en situaciones estáticas, y con su correlativa crítica del capitalismo como una etapa a superar en la evolución de la humanidad. Pero la implementación de su pensamiento durante el siglo XX en el Este de Europa y en Asia se asemejó más bien a una reproducción del viejo "Holismo", con sistemas fuertemente autoritarios en los que la alternativa al caos del mercado era la centralización de las decisiones en manos del Estado. No es ajeno a ello el hecho de que tal implementación se produjera en países que tras el antiguo modo de producción asiático habían devenido en formas de feudalismo oriental mucho más centralizado que el occidental. Pero lo cierto es, además, que hasta la segunda mitad del siglo XX no se disponía de los instrumentos adecuados para un tratamiento científico de las totalidades complejas, con el desarrollo de la Cibernética, la Teoría de Sistemas, los ordenadores e Internet.

Con el hundimiento a finales del siglo XX de los regímenes estatistas se reforzaron las posiciones llamadas "neoliberales" de quienes defendían el mercado como único regulador de la economía. Y la extensión del sistema capitalista al conjunto del mundo se realizó bajo el estandarte de la llamada globalización neoliberal. A partir de la tesis de que la intervención del Estado en la economía suponía una traba para el libre desarrollo del mercado se privatizaron en la mayoría de los países los sectores estratégicos que proporcionaban la infraestructura básica para la vida económica y social, como la energía, el agua y las comunicaciones, y que en el período anterior habían permanecido en manos del Estado en el marco del sistema capitalista.

En estas condiciones la economía se reducía a un gran número de agentes-propietarios independientes que únicamente se relacionaban a través de intercambios comerciales. El subsistema monetario de la economía adquirió así un papel central como vehículo para dichos intercambios. Pero a medida que éstos se extendían cada vez más al ámbito internacional, el intercambio mediante dinero "físico" iba siendo sustituido por transacciones financieras de carácter "virtual". De este modo, el capital financiero adquirió el protagonismo esencial dentro de una globalización que era, sobre todo, financiera. La hipertrofia del capital financiero ha llevado a una situación en la que los activos financieros en circulación superan en mucho al dinero contante y sonante existente, y se calcula que sextuplican el valor de la riqueza real en el mundo. Éste es el trasfondo en el que se está produciendo una crisis financiera global, tras el detonante de la quiebra de las hipotecas "[subprime](#)

" o hipotecas basura. Y los pánicos financieros son una muestra a gran escala de lo que a pequeña escala aparecía en el "dilema del preso", en el que los "egoísmos" unilaterales generan un perjuicio recíproco: miles de inversores intentando poner a buen recaudo sus capitales provocan el hundimiento del sistema financiero y con él una ruina generalizada.

Ante la crisis financiera, personas e instituciones que habían venido defendiendo el mercado como único regulador de la economía y se habían opuesto a la intervención del Estado, han pasado a pedir dicha intervención como salvavidas ante la crisis. Ello es, claro, una nueva reedición de la práctica de privatizar los beneficios y socializar las pérdidas, pero en todo caso revela el fracaso práctico de las doctrinas neoliberales. No sin razón se ha hablado de una [caída del muro neoliberal](#) 19 años después de la [caída del muro del estatismo](#).

Ahora bien, la doctrina neoliberal partía de una falacia: que la simple regulación por el mercado era la única alternativa a un control rígido y centralizado por el Estado.

Dicha falacia era correlativa a la que presentaba el Paradigma Mecanicista como la única alternativa al viejo "Holismo". Pero a finales del siglo XX dicha falacia había sido ya refutada por la emergencia del Pensamiento Sistémico, que permitía un estudio riguroso de totalidades relacionales, a partir de las inter-relaciones entre sus diversos componentes. El Pensamiento Sistémico nos muestra que, si bien no es posible aprehender directamente la totalidad al margen de sus componentes, como pretendía el Holismo, por otra parte la comprensión del funcionamiento de los componentes requiere en muchos casos situarlos en el marco de la totalidad en la que se insertan, y la red de inter-relaciones tiene un carácter sustantivo para el tratamiento tanto de la totalidad como de sus componentes.

En ese marco teórico, la **autoorganización** aparece como la forma más eficiente de gestión de sistemas complejos, frente a la rigidez en la que un único elemento controlaría de forma centralizada a todos los demás, o el caos producido por múltiples elementos adoptando decisiones de forma desconectada. Se trata, por el contrario, de tener los distintos elementos del Sistema "acoplados" con objetivos compartidos y con una información recíproca de sus acciones, de manera que puedan coordinarlas para la mejor consecución tanto de los objetivos globales como de los objetivos propios de cada elemento, desde la comprensión de que "[el libre desarrollo de cada uno condicione el libre desarrollo de todos](#)". La libre cooperación sustituiría así tanto a la imposición como a la competencia.

¿Qué tipo de organización social se asentaría en una tal autoorganización fundamentada en el Pensamiento Sistémico? Aunque dicha organización social conectaría con algunas de las ideas de Karl Marx para la sociedad futura, tiene poco que ver con los sistemas sociales que en el siglo XX se inspiraron en su pensamiento. Puede conectar también con la tradición del

"[comunismo libertario](#)", y corresponde a lo que en nuestros trabajos académicos llamamos "[Sociedad científica libre](#)" y probablemente a lo que algunos en Latinoamérica llaman "[Socialismo del siglo XXI](#)".

Pero donde dicha forma de autoorganización se encuentra más claramente prefigurada es, y no por casualidad, en determinadas comunidades creadas en el "ciberespacio" a través de Internet.

De hecho, la misma arquitectura de Internet está diseñada para posibilitar la intercomunicación en red sin supeditarse al control desde un centro. Este diseño, concebido inicialmente para evitar la vulnerabilidad ante un ataque nuclear a un centro inexistente, ha persistido en el proceso de su conversión en una red mundial. Por otra parte, si su estructura en red dificultaba su control desde los Estados, por otra parte Internet se expandió como una red de comunicación inter-universitaria y entre centros de investigación, al margen del mercado.

Naturalmente, la pretensión de universalizar el mercado en el marco de la llamada globalización neoliberal intentaría extenderse también a Internet. Una de las vías centrales para ello era la ampliación del concepto de propiedad en el campo de la llamada "[propiedad intelectual](#)", pretendiendo privatizar ya no sólo las cosas sino también las ideas.

Pero la misma estructura de Internet facilitaba la respuesta a dicha pretensión. La vanguardia de dicha respuesta ha sido el desarrollo del "[software libre](#)", con el estandarte del proyecto [GNU](#). Lo significativo es que dicha respuesta se desarrolla de forma independiente tanto del mercado como de los Estados, a través de la libre cooperación de programadores de todo el mundo, que no sólo autorizan la libre distribución de sus programas sino que hacen público su código fuente, manteniéndolo así "abierto" a su mejora por otros programadores.

El núcleo de dicho proyecto es el sistema operativo [Linux](#), que posibilita que los programas funcionen sin depender de sistemas operativos "propietarios", propiedad de determinadas empresas. Pero hay también diversos proyectos desarrollados por comunidades con miles de cooperantes, como el proyecto [Mozilla](#) para la comunicación por Internet a través de navegación en web o correo electrónico, o el proyecto [OpenOffice](#) como paquete que incluye diversos instrumentos como procesador de textos y hoja de cálculo. En todos ellos, el carácter público de los códigos y los múltiples cooperantes en su desarrollo permite su incesante mejora, generando productos notoriamente más eficientes y seguros que los programas "propietarios". Naturalmente, ello sólo es posible a través de la libre comunicación en Internet, tanto para la cooperación en su desarrollo como para su distribución.

Otro proyecto altamente significativo es la enciclopedia universal y multilingüística [Wikipedia](#), construida a través de la libre colaboración de miles de personas. Dicho proyecto hace uso de la tecnología [Wiki](#), que permite la edición por múltiples voluntarios de un sitio web a través del navegador. La alta calidad y amplitud de dicha enciclopedia es una muestra de la eficacia de la libre cooperación.

En la jerarquía de [Sistemas Vivientes](#) de James Grier Miller, las comunidades que desarrollan estos proyectos pertenecerían al nivel de "organizaciones". Pero los principios de autoorganización y cooperación en los que se basan pueden aplicarse también en el nivel de "sociedades" y "sistemas supranacionales". Y ello se corresponde especialmente con lo que se llama "[sociedad de la información](#)" o el proyecto de "[sociedad del conocimiento](#)".

Singularmente, la [Estrategia de Lisboa](#) formulada por el Consejo Europeo en marzo de 2000 se marcó el objetivo estratégico de convertir la economía de la Unión Europea en "*la economía del conocimiento más competitiva y dinámica del mundo*", manteniendo los principios neoliberales centrados en el mercado en los que se basaba. Pero la economía de la información y del conocimiento es incompatible con dichos principios: por un lado, la mercantilización del conocimiento en nombre de la "propiedad intelectual" se convierte en una traba para la libre circulación de la información como la que permite el desarrollo de los proyectos de software libre y, en general, el desarrollo de la investigación científica; por otro lado, la desproporción entre el coste de reproducción de una información y el tiempo de trabajo necesario para su producción original hace inviable su valorización en términos de mercado.

Por todo ello, la economía de la información requiere superar el marco de la economía de mercado sin caer bajo el control autoritario del Estado. Requiere, en definitiva, un sistema económico basado en la autoorganización y la cooperación.

Por otra parte, la actual crisis financiera global revela el carácter pernicioso de mantener en manos privadas las redes que proporcionan la infraestructura básica para la vida económica y social. Es el caso de las redes financieras, pero también de las redes de comunicación, agua y energía.

No es casual que el movimiento contra el neoliberalismo que se extiende en Latinoamérica haya hecho un caballo de batalla de la nacionalización de los hidrocarburos o de la oposición a la privatización del sistema de distribución del agua. Tampoco que ante la crisis financiera se hayan planteado propuestas de nacionalización de la banca, como la nacionalización parcial de la banca en crisis que se propone llevar a cabo el gobierno británico.

Ciertamente, esta propuesta es más coherente que la de verter dinero público en la banca manteniéndola en manos privadas. Pero tales nacionalizaciones sólo permitirán avanzar hacia la solución de los problemas de fondo si se enmarcan en una alternativa sistémica global como la que hemos venido apuntando.

Ésta es, en definitiva, la actualidad del Pensamiento Sistémico: ser una de las claves para el futuro de la humanidad.

[ESQUEMA](#)

Enlaces:

Del Paradigma Mecanicista...: <http://www.uv.es/pla/Tutoria/pamepasi/guiadida.htm>
Público: <http://www.publico.es/>
Problema de 3 cuerpos: http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_los_tres_cuerpos
Dilema del preso: http://es.wikipedia.org/wiki/Dilema_del_prisionero
Equilibrio de Nash: http://es.wikipedia.org/wiki/Equilibrio_de_Nash
Subprime: <http://es.wikipedia.org/wiki/Subprime>
Caída del muro neoliberal: <http://www.prensalibre.com/pl/2008/septiembre/18/263401.html>
Caída del muro del estatalismo: http://es.wikipedia.org/wiki/Caída_del_muro_de_Berlín
El libre desarrollo de cada uno...: <http://www.marxists.org/espanol/m-e/1840s/48-manif.htm#i>
Comunismo libertario: http://es.wikipedia.org/wiki/Comunismo_libertario
Sociedad científica libre: <http://www.uv.es/pla/models/pittsburgh/>
Socialismo del siglo XXI: http://es.wikipedia.org/wiki/Socialismo_del_siglo_XXI
Propiedad intelectual: <http://www.gnu.org/philosophy/not-ipr.es.html>
GNU: <http://www.gnu.org/>
Linux: <http://www.linux.es/>
Mozilla: <http://www.mozilla.org/>
OpenOffice: <http://es.openoffice.org/>
Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/>
Wiki: <http://es.wikipedia.org/wiki/Wiki>
Sistemas vivientes: http://projects.issis.org/the_living_systems_theory_of_james_grier_miller
Sociedad de la información:
http://es.wikipedia.org/wiki/Sociedad_de_la_informaci%C3%B3n
Sociedad del conocimiento: http://es.wikipedia.org/wiki/Sociedad_del_conocimiento
Estrategia de Lisboa: http://es.wikipedia.org/wiki/Agenda_de_Lisboa

Modelos de Simulación por ordenador: una herramienta incisiva para intervenciones pertinentes en el campo de los Asentamientos Humanos

Mg. Arq. Mario Nudelman

Resumen

Se fija primeramente la posición actual del Concepto “Modelos” dentro de los procesos de Planificación de los Asentamientos Humanos. Dicha práctica suele ser un instrumento importante utilizado por los centros especializados en investigar en el campo del Hábitat. Los modelos ocupan un espacio ante la necesidad de abstracción de los problemas y soluciones familiarmente complejos dentro de este campo del conocimiento. Pero, dichas prácticas permiten ver un conjunto de falencias o limitaciones que van desde la profunda dependencia de la ejecución de proyectos experimentales, con serios inconvenientes de gestión que inciden sobre los procesos investigativos, hasta las dificultades prácticas en la aplicación de las conclusiones evaluativas de dichos proyectos experimentales.

Las nuevas tecnologías de la información y el enfoque de la Teoría General de Sistemas dan los fundamentos e instrumentos para superar dichas falencias y abrir un horizonte promisorio para abordar la complejidad, canalizando en forma operativa por medio de los Modelos de Simulación por ordenador, los avances registrados en el campo del conocimiento de los Asentamientos Humanos. Un ejemplo esquemático de Simulador ayuda al lector a visualizar dicha integración de información y conocimientos. Dichos instrumentos resultan evidentemente útiles cuando los conocimientos relevantes están atomizados o ausentes en los lugares de toma de decisión, especialmente las de carácter local. Los Modelos de Simulación por ordenador abren la puerta al acceso a nivel local de conocimiento experto.

Summary

First, the actual position of “Models” concept it is fixed in the process of planning of Human Settlements. This practice is an important instrument used by specialized centers which investigate this sector. Models occupy an important place because of abstraction problems and complex solutions in this field of knowledge. But, this situation lets us see many deficiencies and limitations since the deep dependency on execution of experimental projects with serious difficulties of management that affect the processes of investigation and also affect the practical difficulties in the application of evaluation conclusions of these experimental projects.

The new technologies of information management and the approach of System General Theory give the foundations and the instruments to overcome those deficiencies and open a promissory horizon in order to broach complexity, canalizing through simulation Models the progress registered in the field of knowledge about human settlements. A brief example of simulator helps the reader to visualize the integration of information and knowledge. Those instruments are obviously useful when the relevant knowledge is absent in the places where decisions are taken, specially the local ones. Simulation models open the door to expert knowledge at a local level.

Palabras Claves

Modelos de Simulación Dinámica ; Soportes para toma de decisiones ; Planificación en Asentamientos Humanos ; Tecnología de la Información y Asentamientos Humanos

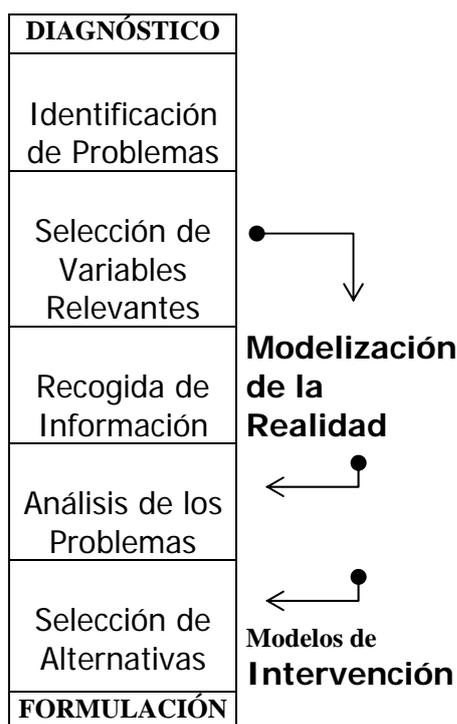
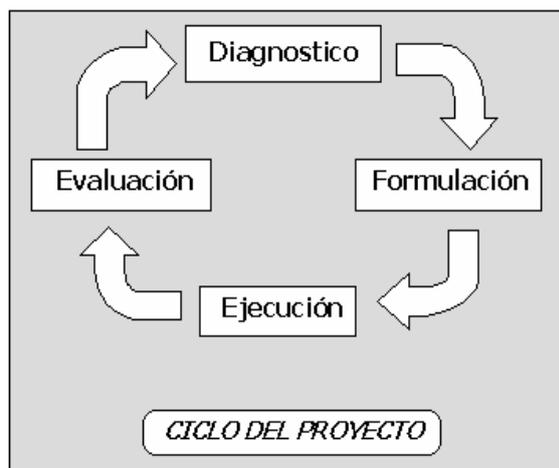
1. Ubicación de los Modelos dentro de la práctica actual de la Planificación Local

Siendo el CEGELAH un Centro de Investigación y Desarrollo dedicado a la temática del fortalecimiento de las capacidades de los municipios para planificar y gestionar sosteniblemente el sector del agua y el saneamiento, se juzgó necesario explicitar cual es la posición del Centro frente al Instrumento que nos ocupa, los modelos de simulación por ordenador en relación al accionar en el campo municipal, especialmente dentro de la temática sectorial que nos ocupa.

La Planificación en el campo de los Asentamientos Humanos de Latinoamérica ocupa un lugar central como práctica para orientar los recursos hacia soluciones que respondan a necesidades de los mismos. El Sector de las mejoras habitacionales y sanitarias no son la excepción. También forma parte de los Procesos generales utilizados por Centros de I+D para validar tecnologías y procesos de intervención local. No hay Programa, Proyecto o Investigación en este campo donde el proceso "Diagnóstico / Formulación de soluciones/ Evaluación" no esté presente, variando las escalas y técnicas utilizadas para su implementación¹.

Dentro de ella la noción de "Modelo", subyace en mayor o menor medida como forma de sintetizar tanto la lectura de la realidad que se estudie, como la forma de identificar las notas características de la solución que mejor responde a las necesidades estudiadas en el diagnóstico. Estos "Modelos", quedarán evidenciados de distintas formas: serán expresados en formas gráficas o con esquemas conceptuales, donde los recursos que se utilicen tratan de mostrar sobre todo aspectos relacionales que de otra forma no podrán ser percibidos con facilidad. En resumidas cuentas estos modelos ayudarán a mejorar la percepción que se tenga de los problemas / necesidades o las secuencias y efectos que se espera desplegar mediante la ejecución de un determinada tecnología, proyecto o conjunto de acciones.

UBICACIÓN DE LOS MODELOS PARA TOMA DE DECISIONES EN EL CICLO DEL PROYECTO



Pero en el ámbito donde dicho "Modelo" queda expresado y hasta en ocasiones vivenciadoⁱⁱ por lo general en escalas comunitarias, barriales, de mayor o menor envergadura, o inclusive la municipal en ámbitos de pequeños asentamientos, es en la ejecución de "proyectos experimentales". Dichos Proyectos Experimentales están ordenados a la generación de nuevo conocimiento. Las acciones comprendidas en los mismos están complementadas con registros que buscan rescatar mediante la sistematización de información antes, durante y después de la ejecución del Proyecto, posibilitando los procesos evaluativos que buscan verificar los supuestos de partida o hipótesis. El cometido final de estas acciones son la retroalimentación de los procesos y la modificación de los Modelos de lectura de la realidad y de las Acciones que englobó el Proyectoⁱⁱⁱ.

2. Ensayando una crítica a los mecanismos de generación de conocimientos en el ámbito de los Asentamientos Humanos

Ahora bien, una visión crítica de esta mecánica orientada a la generación de conocimientos puede quedar expresada en los siguientes puntos^{iv}:

- 1) La forma de verificar un "Modelo de Solución" es la ejecución del Proyecto unido a la evaluación, mientras que la de verificar la modificación de la realidad (Modelización de la realidad), es el de registrar y monitorear el "post proyecto". El Proyecto se constituye así en una iniciativa experimental fundamental en los avances del conocimiento científico en este campo.
- 2) Esta manera de verificar supuestos de partida tiene fundamentalmente dos puntos vulnerables en sí misma: depende fundamentalmente de la ejecución del proyecto, y por otra ofrece dificultades en el planteo de alternativas. Es un hecho de que un proyecto, junto con la erogación económica importante que supone, insume importantes energías en su gestión, la cual las más de las veces tiene tiempos muy distintos a los tiempos de investigación (Ej.: disponer de los fondos supone un tiempo muy superior y necesita contar con aptitudes personales y organizativas muy diferentes que el entregar un Informe de Investigación para su evaluación).

Y con respecto a las alternativas, la capacidad de planteos de escenarios posibles (a partir de la información de un diagnóstico "tradicional") es muy limitada, con lo cual también es limitada la capacidad de ofrecer alternativas a la hora del planteo de soluciones.

- 3) Otro punto de interés es la falta de evaluación o si esta se efectúa, existen dificultades en que esta opere sobre el proceso de definición de una solución/proyecto. Esto es debido especialmente a la distancia temporal existente entre Evaluación y próxima solución. A estos se le suma en algunos casos que los criterios de evaluación no son compatibles con los que dieron lugar a la solución, incluyendo la participación de equipos diferentes y muchas veces inconexos. Todo esto suele llevar a la falta de utilidad práctica y escasez operativa de las evaluaciones. Esto atenta directamente sobre las posibilidades reales de retroalimentación de los procesos, y de modificación de los Modelos que dieron pie tanto a la visión de la realidad diagnosticada como al tipo de solución finalmente ejecutada.
- 4) Existe otra seria dificultad a la hora de formular ya sea un modelo de interpretación de la realidad como una que presente el planteo de soluciones complejas o "integrales": la de incorporar conocimientos provenientes de distintas vertientes (sociales, económicas, ambientales, etc.). Es cierto que en equipos de tradición interdisciplinaria esto ha llevado a implementar modalidades de trabajo que permiten dicha integración, con soluciones o

productos que hablan de todas las partes implicadas pero, muchas veces, el destino de la dupla "Diagnóstico-Proyecto integral", son un conjunto inconexo de partes donde la solución no logró incorporar el conjunto de información relevada. Existe un fuerte déficit de interacción entre información relevada "Intradiagnóstico" y de esta con las propuestas de solución.

- 5) En la turbulenta situación de las ciudades y municipios latinoamericanos, los diagnósticos muchas veces quedan obsoletos antes de que se pueda actuar sobre la realidad diagnosticada. Cuando extraordinariamente se producen actualizaciones, estas no permiten visualizar en forma integrada la evolución temporal del asentamiento.

3. Aportes de los Modelos de Simulación por ordenador a la generación de nuevo conocimiento

Frente a estos cinco puntos planteados, los Modelos de Simulación por ordenador tienen algo que aportar^v.

El punto de partida es el de entender al Simulador como una herramienta que ocupa el lugar, si se permite la analogía, similar al Simulador de vuelos como herramienta utilizada en el aprendizaje de los futuros pilotos de las grandes aeronaves, pero también como instrumento interactivo entre "piloto" y "máquina" donde lo relevante sean las decisiones que tome el primero y la respuesta que se obtenga del segundo.

El Modelo de simulación es construido enteramente basado en el conjunto de información relevante accesible y que responda a los objetivos del equipo que lo formula. Las fuentes de información serán desde los expertos locales (con conocimiento teórico y/o empírico) en los temas de interés, las personas que viven en dicho municipio, los encargados del servicio de abastecimiento, el equipo encargado en las reparación de las averías en la red, los proveedores, las empresas locales... en fin, el conjunto de personas e instituciones que, de oficio serían objeto de cuestionarios, encuestas o talleres en un diagnóstico amplio y participativo. Primera conclusión parcial: el Modelo de Simulación por ordenador no es una elucubración abstracta de un grupo de teóricos, sino la forma de incorporar información relevante y posibilitar su interacción para lograr fines determinados.

Por otra parte, especialmente en el campo del Desarrollo Local donde no se tiene aún tradición en el diseño y manejo de Modelos de Simulación por ordenador, se manifiesta (no sin razón) que muchas relaciones no pueden expresarse con formulaciones matemáticas. Frente a este desafío, los programas que permiten la construcción de simuladores no solo incorporan formulas matemáticas para definir la relación entre variables, sino que pueden incorporar información disponible en forma de registros de campo, formulaciones lógicas y otras formas de definición de relaciones entre variables que permiten la construcción de modelos a partir de formas heterogéneas de información^{vi}.

Veamos cuales son los aportes que los modelos de simulación pueden ofrecer al campo de investigación en el campo municipal, rebatiendo cada uno de los cinco puntos planteados:

- 1) El Modelo de simulación se ubica entre la formulación del problema y el planteo de su solución, siempre previo a un proyecto ejecutivo (experimental o no). Su capacidad interactiva permite bucear posibles soluciones, agotando alternativas y buscando optimizar el producto que se obtenga. Como consecuencia se abren dos aspectos importantes en el campo científico: a) la investigación utilizando como herramienta de

- experimentación la simulación. b) Disponer de una herramienta fiable en la búsqueda de la optimización en el uso de los siempre escasos recursos económicos.
- 2) La investigación en el campo de los Asentamientos Humanos dispondría con el simulador de una herramienta fiable que permita generar conocimiento relevante aumentando la autonomía de recursos económicos y del tiempo, para focalizarse en el buceo de la innovación y el planteo de alternativas modificando escenarios y estrategias.
 - 3) La evaluación de soluciones por simulador permite disponer de datos fiables de verificación de una solución en forma ágil y económica. Esto permite una retroalimentación robusta capaz de modificar las estructuras de las soluciones/proyectos y aportando a la intuición creativa un marco de referencia de un nivel superior al de disponer un conjunto inconexo y extemporáneo de información que por su volumen y heterogeneidad es de muy difícil procesamiento.
 - 4) El rigor puesto en la construcción del Modelo, donde cada variable y sus interrelaciones son fruto de vastos esfuerzos conjuntos de conocimientos de distinta vertientes, son la expresión de la integración de los mismos. La validación del Modelo es la prueba tangible de que dicha integración de conocimientos es coherente y confiable. Por lo cual un Modelo de Simulación es una herramienta válida (no la única obviamente) para integrar conocimiento disímil y disperso. A todo esto se suma que el hecho de poder ser operado como un software y guardando las recomendaciones y salvedades dentro de las cuales se le dio origen, puede aumentar considerablemente la generalización de dicho conocimiento experto.
 - 5) Los Modelos de simulación como el que nos ocupa permiten dos tipos de actualizaciones: una local, aquella que incorpora periódicamente información al Modelo ya diseñado para poder ser operado a lo largo de su vida útil, la cual viene dada mientras las variables intervinientes en el mismo sean las relevantes de la realidad. Esto agiliza en grado sumo la capacidad local de actualizar la visión diagnóstica que se trate. Y, por otra parte, ya dentro de procesos continuos llevados a cabo por grupos expertos, puede incorporarse al Modelo de partida a proceso de actualización a partir de los acontecimientos que modifican la realidad de partida y por ende afectando la validez del Modelo diseñado originalmente, dando lugar a la incorporación de nuevas variables.

4. Un ejemplo sencillo para conocer más de cerca un Modelo de Simulación por Ordenador y su contexto municipal^{vii}

La pretensión de este punto es solo que el lector pueda visualizar el planteo de un Modelo de Simulación. No interesa explicar en esta instancia la metodología para la confección del mismo. El ejemplo que se presenta a continuación es un extracto de un artículo titulado “Control por simulación de la calidad del suministro de agua a las viviendas” de Mario Alejandro Nudelman y Antonio Caselles Moncho publicado en la Revista Internacional de Sistemas, Vol. 14 (2004-2006) pp. 43-67.

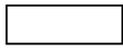
Para entender el ejemplo es fundamental saber que todo modelo de simulación tiene un objetivo y tiene límites. Los objetivos responden a la pregunta ¿qué quiero obtener con todas estas variables interrelacionadas? Esto es denominado en la TGS conjunto de “Variables de Salida”. En nuestro caso, interesa saber cómo inciden un conjunto de variables relacionadas con las condiciones intradomiciliarias de las instalaciones, sobre la calidad del agua a pie de grifo en un sector urbano. En cuanto a los límites, nos habla de las variables que han sido seleccionadas y la escala de validez de aplicación del Modelo.

El gráfico que se plantea más abajo, denominado en la jerga sistémica “Diagrama de Flujo” es la interpretación de tres cosas: Las variables relevantes que intervienen en el modelo, el tipo de variables que se tratan y las interrelaciones entre dichas variables. Estos

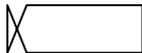
tres atributos son, por así decirlo, la esencia de un software informático que permite la interacción entre las variables^{viii}.

La tabla que sigue luego de las Referencias, contiene la Denominación de una selección de Variables, gráficamente se explica el tipo de variable que se trata y en otro campo como se calcula el valor de cada una^{ix}.

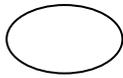
REFERENCIAS DEL DIAGRAMA DE FLUJOS^x

**Variables de Estado o Niveles**

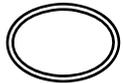
Son variables almacenables, de stock o de fondo

**Variables de Flujo**

Son las variables que afectan al comportamiento de las variables de estado, o niveles, haciendo que aumenten o disminuyan.

**Variables Auxiliares**

Son magnitudes que ayudan a explicar los valores de los flujos.

**Variables Exógenas**

También llamadas independientes, son externas al sistema, pero que actúan sobre el comportamiento de este.

**Fuentes o sumideros**

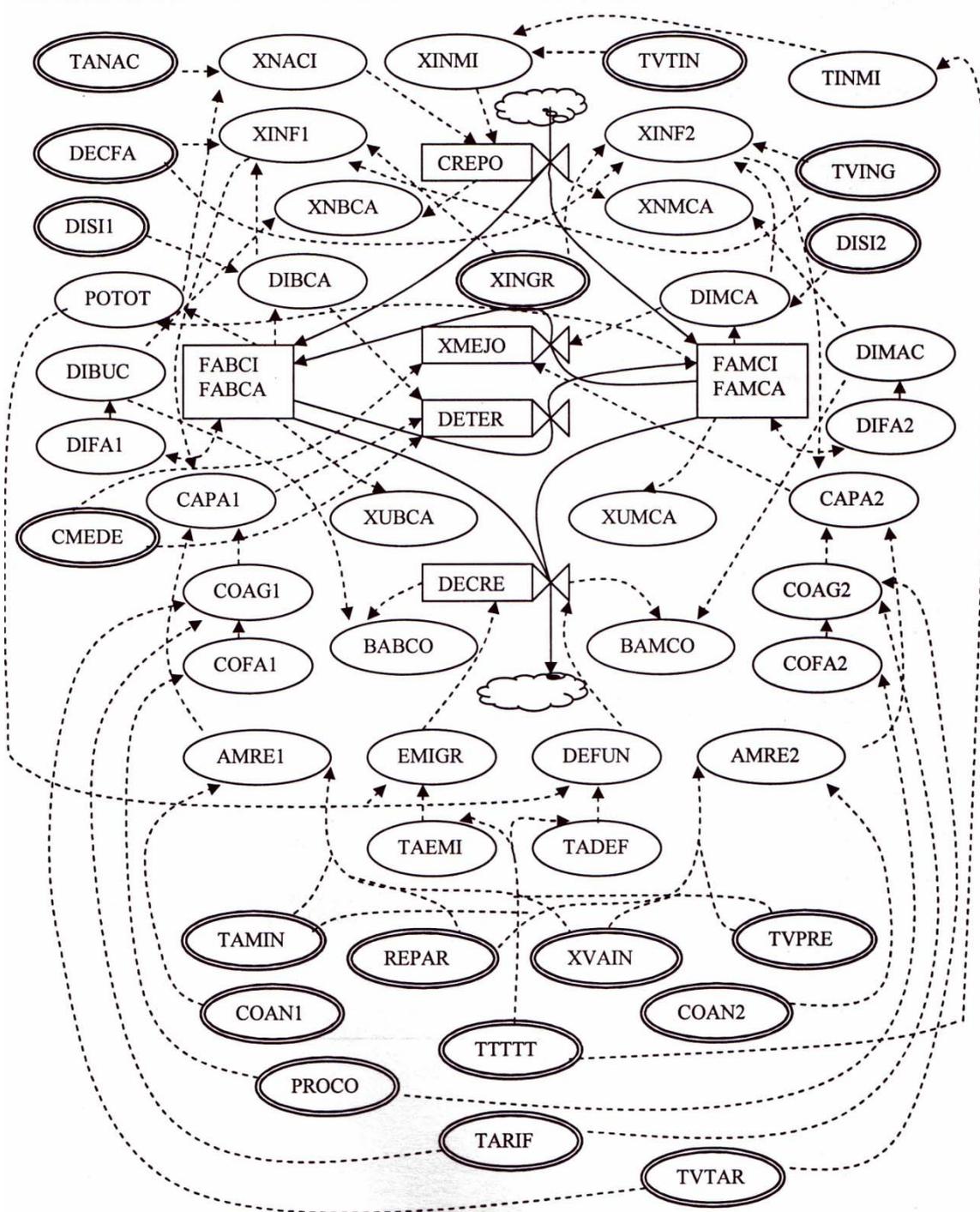
Cuando la procedencia o destino de los materiales o elementos no son de interés para el estudio en cuestión se conviene que están dirigidos sumideros que no se llenan o provienen de fuentes inagotables.

SELECCIÓN DE VARIABLES INTERVINIENTES EN EL MODELO^{xi}

Variable	Nombre	Cálculo de su valor	Explicaciones
	Tiempo	DATO Valor Inicial cero	Variable que permite una evolución de las tasas dependientes en función del tiempo, que aparece como t
	Tasa anual de Nacimientos del Sector ^{xii}	DATO no constante Valor constante : 8,506725 (Valores en ‰)	Ajuste de la gráfica obtenida a partir de la información std. Sobre nacimientos por año, utilizando el programa REGINT ^{xiii} – Ver Tabla N° 1
	Tasa anual de Inmigración	Tendencia del pasado: $\text{tinmi} = -82.84772 + 89.62408 * \exp(0.1 * t)$ (Valores en ‰ y tiempo = 1,2... en años a partir de 1998 año 1)	Ajuste de la gráfica obtenida a partir de la información std. anual sobre inmigrantes, utilizando el programa REGINT Ver Tabla N° 3
	Variación sobre la tendencia de la tasa de inmigración	DATO no constante Valor Inicial 0 (%)	Si TVTIN toma valores superiores a cero la curva real irá por encima de la curva teórica. Y lo contrario si toma inferiores a 0.
	Población total actualizada en el Distrito	$\text{potot} = 0$; for $i1 = 1$ to 2: for $i2 = 1$ to 9: $\text{potot} = \text{potot} + \text{fabcii}(i1; i2) + \text{famcii}(i1; i2)$:next:next	Se suman las poblaciones iniciales que totalizan la población del Distrito tomada como referencia (1996) Ver Tabla N° 0
	Suma de los incrementos de población	$\text{CREPO} = \text{XNAC} + \text{XINMI}(2)$ Vector - (2)	Suma total de pobladores que se incorporan al Distrito
	Distribuidor de población en el sector en buenas condiciones	DATO: Vector - (2)	Porcentajes con que se distribuye la población nueva en el sector “ BC ”. Basado en el porcentaje con que estaba distribuida inicialmente la población – Ver Tabla N° 5
	Usuarios iniciales en el sector en Buenas Condiciones	DATOS: MATRIZ (2,9)	Estimaciones basadas en el censo 1996 del Distrito, y diferenciado por la antigüedad de la edificación. Por familias de 1 a 9 miembros. Ver Tablas n° 7 y 9
	Usuarios Totales en el sector en buenas condiciones	$\text{xubci}(i1) = 0$; for $i2 = 1$ to 9: $\text{xubca}(i1) = \text{xubca}(i1) + \text{fabca}(i1; i2)$:next	Diferencia entre egresos e ingresos de población dentro del sector que está en buenas condiciones de abastecimiento. Resultante, vector (2)
	Componentes de la Tarifa general domiciliaria aplicada por la empresa	DATO: Vector(6) TARI1 = 35 TARI2 = 882 TARI3 = 1,07 TARI4 = 132,24 TARI5 = 475 TARI6 = 70,05	Componentes basados en el estudio del recibo oficial de agua extendido por Aguas de Valencia para el sector de Algirós- Unidad de medida: pesetas. – Vector (6)

EJEMPLO DE DIAGRAMA DE FLUJO^{xiv}

En el gráfico siguiente se presentan las interrelaciones entre variables según el enfoque del Diagrama de Forrester (Caselles Moncho, 2000 y López Díaz-Delgado, 2000).



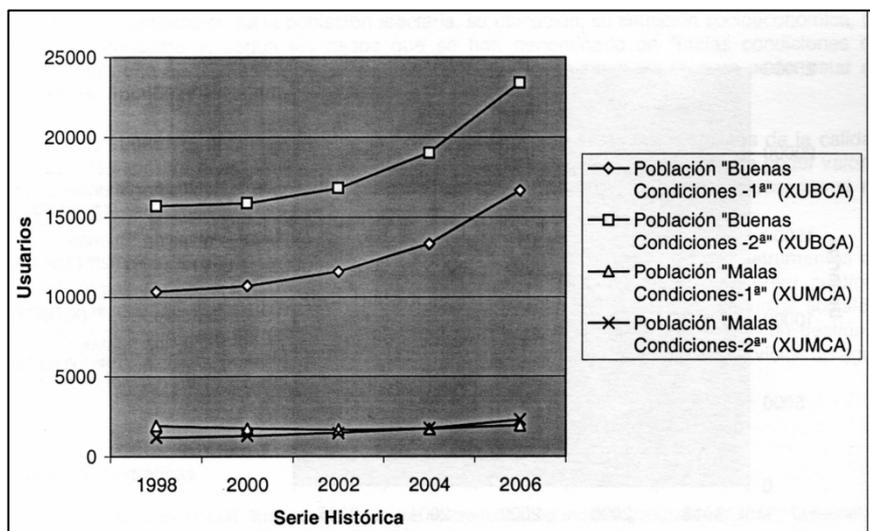
EJEMPLO DE ESCENARIO

ESCENARIO A: AUMENTO DE POBLACIÓN EN EL SECTOR			
Variable considerada	Evolución posible	Variable donde impacta	Consecuencias posibles
<ul style="list-style-type: none"> Tasa de Natalidad (TANAC) 	Aumento de la Natalidad	Consumo de agua en las familias BC (COFA 1)	Aumento en el consumo pero sin llegar a afectar sensiblemente el equilibrio de capacidad de pago (CAPA1); se mantiene la población en BC (XUBCA)
<ul style="list-style-type: none"> Tasa de Inmigración (TVTIN) 	Aumento de la población inmigrante	Consumo de agua en las familias MC (COFA2)	Aumento del consumo pero puede que los ingresos totales sean bajos, afectando la capacidad de pago (CAPA2); Aumenta la población en MC (XUBCA)

EJEMPLO DE ESTRATEGIA

TARIFA SOCIAL		
Variable de Control	Efecto buscado	Mecanismo posible
<ul style="list-style-type: none"> Tarifas de Consumo Domiciliario de agua (TARIF) <p>Mejoramiento en las condiciones de pago de los sectores más vulnerables.</p>	Tarifa selectiva para grupos de población con bajos ingresos o paralización de las subidas de precio	<ul style="list-style-type: none"> Subsidio (Directo o cruzado) <p>Costo del Agua (COAG 1 Y 2) Capacidad de pago (CAPA 1 Y 2) Mejora/ Deterioro (XMEJO Y DETER) Familias en buenas condiciones o malas condiciones de abastecimiento (XUBCA Y XUMCA)</p>

EJEMPLO DE EVOLUCIÓN DE VARIABLE OBJETIVO: Condiciones de Abastecimiento "A pie de grifo" para escenario Expansivo y Estrategia Intervencionista



El ejemplo nos enseña en forma más precisa los siguientes aspectos en relación a la inserción de este tipo de instrumentos en procesos de conocimiento y toma de decisiones en el ámbito municipal:

- 1) Se puede visualizar la posibilidad práctica de interrelación entre variables de diversa índole (demográficas, económicas, habitacionales, etc.)
- 2) Estas interrelaciones parten de un conocimiento previo de las condiciones de un servicio que se presta en el municipio, donde intervienen tanto técnicos del área como profesionales especializados. Inclusive pueden aportar datos de interés personal idóneo.
- 3) Existen diversas fuentes de información que aportan los datos imprescindibles para conocer el comportamiento de las variables intervinientes. Pueden ser fuentes ya existentes u otras creadas “ad hoc”.
- 4) Para la construcción propiamente dicha del Simulador intervinieron personal experto en dicha práctica. Supuso conocimientos de programación y estadística. También se utilizaron programas altamente especializados capaces de generar el simulador en cuestión y de facilitar el planteo de formulación de funciones matemáticas entre las variables intervinientes.
- 5) Ya dentro del circuito del usuario, este Modelo en particular, ofrece una interface solo accesible a expertos en programación en general y a los desarrolladores del mismo en particular. Por lo tanto, el circuito de usuarios, sin mayor intervención en el mismo, puede quedar circunscriptos al gabinete de un centro de investigación especializado en el sector. Esto es así porque por lo general, el ambiente municipal es netamente ejecutivo y carece de cuadros técnicos altamente especializados.
- 6) La forma de llegada de dicho conocimiento experto al municipio solo podría estar ligada a procesos de cooperación técnica o consultoría dentro del marco de procesos de planificación local.
- 7) Los Resultados obtenidos nos muestran tendencias que pueden fundamentar prospectivas de grupos poblacionales afectados por situaciones de mala calidad de servicio, si las condiciones a que se ven sujetas las variables de escenarios se comportan de una determinada forma. La utilidad de este tipo de información radica en que dichas tendencias pueden ser abordadas antes de que las consecuencias pudiesen resultar de un costo (económico y/o político) inaceptable, interviniendo sobre las variables que mayor efecto positivo obtengan (estrategias). De esta forma los modelos pueden ser utilizados como “laboratorios” que puedan predecir comportamientos futuros, como así también instrumentos para planificar acciones que respondan a situaciones deseables para el mayor conjunto de población posible.

5. Conclusiones: Consideraciones sobre la utilidad de los Modelos en el campo municipal.

Concluyendo, podemos ver “prima facies” como los Modelos de Simulación son un aporte a los procesos de Planificación, ya sea que esta opere directamente sobre la realidad, ya sea que la misma sea utilizada como orientación de la metodología investigativa en el campo de los Asentamientos Humanos. Dicho aporte es el de integrar y generalizar conocimiento experto para obtener y manipular variables relevantes de la realidad. Una herramienta así contribuye a que el diseño de propuestas se aproxime mucho más a una realidad compleja y cambiante, incidiendo positivamente en la cualidad de pertinencia de la solución a la realidad que pretende modificar.

Otra arista a destacar es la de los Modelos de Simulación como soporte para la toma de decisiones locales. Dicho en otras palabras: pasar de un usuario experto (Técnico o

Investigador) al complejo local de Planificación / Decisión política. Al ser un software operable en cualquier ordenador, este puede llevar al alcance de decisores municipales, conocimiento experto que afín al objeto de intervención. De alguna manera han sido bajo este paradigma de transferencia donde se han ubicado las principales acciones del GSG en el campo municipal. Y es allí donde se orientará la sistematización de experiencias que propone esta publicación.

Para una comprensión acabada de dichos trabajos, será fundamental profundizar en el conocimiento del diseño de interfaces que hayan facilitado el acceso al simulador de personal no experto en modelizaciones. Sin dudas un Modelo de Simulación que disponga de un diseño de interface adaptado a la idiosincrasia, capacidades y lógicas de los usuarios municipales facilitará su comprensión y será un puente útil para su utilización a la hora de planificar localmente. Por ello también será necesario conocer en sus trazos fundamentales la forma en que los municipios valencianos planifican en los sectores que nos interesan: el urbano en general y el del agua y el saneamiento en particular, para conocer la posición estratégica que adquirieron los Modelos ya diseñados y transferidos por el GSG en dichos procesos.

Por último se abre como campo impostergable de interés el de los procesos de transferencia, esto es, la forma en que dicho personal no experto fue introducido mediante capacitaciones y experiencias guiadas en el uso de los modelos de simulación diseñados. Sin duda buena parte del éxito en cuanto a la introducción de dichas herramientas pasará también por la forma en que el personal que lo utilizará y que acudirá en busca de la información generada, fue capacitado para ello.

Por último, los Modelos de Simulación dentro del entorno de Centros de Investigación en Asentamientos Humanos pueden llegar a constituir verdaderos laboratorios donde se verifiquen hipótesis que dan lugar a soluciones alternativas, constituyendo marcos confiables para incentivar la intuición y la creatividad en un grado superior. Es en este campo donde ya se encuentra comprometido el Equipo del CEGELAH y ha sido el objeto del Proyecto de Cooperación interuniversitaria que se ha ejecutado junto al GSG de la Universidad de Valencia.

Bibliografía

CASELLES MONCHO, ANTONIO (2008). *Modelización y simulación de sistemas complejos*. Publicaciones de la Universidad de Valencia. Valencia (España).

CASELLES MONCHO, ANTONIO (1994). "Improvements in the systems-based models generator SIGEM". *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 25;81-103.

CRUZ ROJA ESPAÑOLA (1997), *Manual de Formación Especializada para el Voluntario de la Cruz Roja Española*. Editorial de la CRE. Madrid (España)

GÓMEZ-SENENT MARTÍNEZ, ELISEO (2003) *La Ciencia de la Creación de lo artificial, un paradigma para la resolución de problemas*, Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia (España).

KULLOCK DAVID (1993), *Planificación Participativa y Hábitat Popular*, Editorial de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires (Argentina).

LÓPEZ DÍAZ –DELGADO, ELENA y MARTÍNEZ VICENTE, SILVIO (2000) *Iniciación a la simulación dinámica*, Editorial Ariel Economía. Barcelona (España).

MICÓ RUIZ, JUAN CARLOS y CASELLES MONCHO, ANTONIO, (1998) “Space - Time Simulation models for social systems” *Cybernetics and Systems '98. Austrian Society for Cybernetics Studies*. Vienna, Austria. R.Trapp (Ed.)

NUDELMAN, MARIO y CASELLES MONCHO, ANTONIO (2004) “Simulación de la Incidencia de Factores de Calidad de Abastecimiento de Agua a Pie de grifo sobre la población de un sector urbano”, *RECS-II: “2º Reunión española de Ciencias de Sistemas”*, Valencia (España)

NUDELMAN, MARIO y CASELLES MONCHO, ANTONIO (2004) “Calidad de las Instalaciones Domiciliarias de Agua: Simulación de su impacto sobre la calidad del abastecimiento a pie de grifo, desde un enfoque de la gestión de la demanda”, *SEREA “Seminario Hispano-Brasileño de Planificación, proyecto y operación de redes de abastecimiento de agua”*, Valencia (España).

ROBIROSA, MARIO Y OTROS, *Turbulencia y Planificación Social*, UNICEF Argentina y SigloXXI Editora. Buenos Aires (Argentina), 1990.

DEL PARADIGMA MECANICISTA DE LA CIENCIA AL PARADIGMA SISTÉMICO

Lorenzo Ferrer Figueras

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA / AJUNTAMENT DE VALÈNCIA

1997

GUÍA DIDÁCTICA

Rafael Pla López

Entre Ríos (Argentina)

octubre de 2008

Objetivos:

Específicos:

1. [Superar las limitaciones del paradigma mecanicista](#) (capítulos 1, 2 y 3)
2. [Seguir la formación del paradigma sistémico](#) (capítulos 3 y 4)
3. [Aplicar el paradigma sistémico a los problemas de hoy](#) (capítulos 5 y 7)
4. [Vislumbrar el futuro de la Ciencia de Sistemas](#) (capítulo 6)
5. [Estudiar la formación de sistemas y suprasistemas en Latinoamérica](#) (introducción)

Genéricos:

1. Trabajar en equipo.
2. Exponer públicamente.
3. Respetar y criticar las ideas expuestas.
4. Comprender e interactuar con el entorno social.

Metodología:

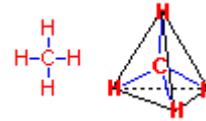
- Realizar actividades en grupos reducidos.
- Exponer y debatir en gran grupo los resultados obtenidos.

1. Superar las limitaciones del paradigma mecanicista:

Actividad 1.1. Para trabajar las antinomias racional-irracional, logos-mito, cada uno deberá formular una afirmación razonada, y a continuación identificar en un grupo reducido las premisas incuestionadas en las que se fundamenta. Atender a que no se trata de debatir las afirmaciones ni las premisas, sino únicamente de identificarlas. Una vez realizada dicha tarea, cada uno expondrá públicamente su afirmación razonada, y otra persona previamente acordada en el grupo expondrá las premisas incuestionadas de la misma. A continuación se debatirá si existen otras premisas subyacentes que no se hubieran explicitado.

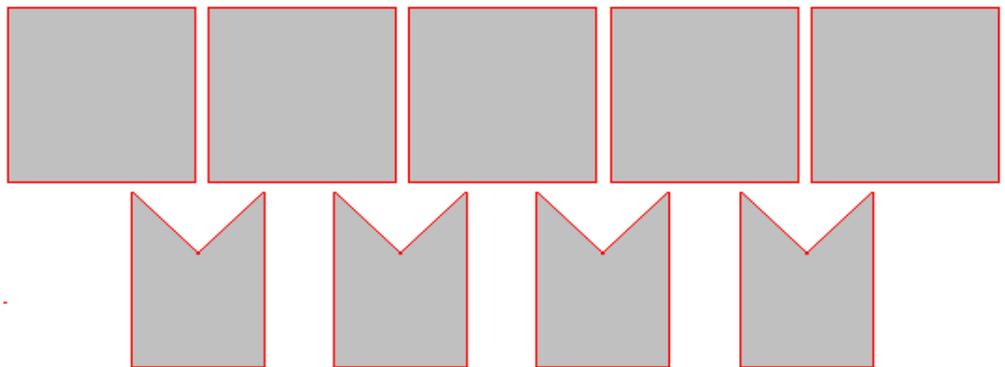
Actividad 1.2. El método científico tradicional se asocia a la *reducción* del problema a estudiar a determinados rasgos y a la posibilidad de *repetir* las experiencias a realizar sobre el mismo, y así de *refutar* suposiciones al respecto. El ideal del paradigma mecanicista sería asimismo que los fenómenos complejos pudieran siempre explicarse mediante fenómenos simples (Ockham): Así, los fenómenos sociológicos se reducirían a fenómenos psicológicos, éstos a fenómenos biológicos, éstos a fenómenos químicos y éstos a fenómenos físicos. Si en determinados casos la reducción no fuera posible deberíamos hablar de *emergencia* (de la física a la química, de ésta a la biología, de ésta a la psicología, de ésta a la sociología). Analizar si en los siguientes fenómenos se da reducción o emergencia:

- El cloruro sódico como combinación de iones de sodio Na^+ y de cloro Cl^-
 - La estructura del metano CH_4
 - La estructura del benceno C_6H_6
 - El metabolismo
 - El camuflaje del camaleón
 - La fatiga muscular
 - El "jet lag"
 - Una avalancha humana ante un incendio
 - La respuesta a los ciclones en Haití, Cuba y EE.UU.
- ¿Qué diferencia hay entre el grafito y el diamante?



Actividad 1.3. Estudiar en qué casos el conocimiento de un todo se reduce a la suma del conocimiento de sus partes (Descartes).

¿Qué "todo" podría obtenerse a partir de la "suma" de las siguientes partes?:



Actividad 1.4. La metodología de Popper estipula que lo

propio de una teoría científica es ser falsable por la experiencia, de modo que si experimentos repetidos la contradicen la teoría debe ser abandonada. Kuhn replica que si se encuentra tal contradicción revela una "anomalía", pero no conlleva el abandono inmediato de la teoría, sino que la práctica de la Ciencia "Normal" supone un esfuerzo por encajar experiencias y teoría interpretando o reinterpretando los resultados experimentales de acuerdo con dicha teoría, la cual entraría en crisis sólo cuando menudearan las anomalías y fracasaran repetidamente los intentos de resolverlas; pero la teoría en cuestión no se abandonaría hasta que surgiera una teoría mejor que se impusiera a través de una Revolución Científica o

cambio de "paradigma" propio de lo que Kuhn llama Ciencia "Extraordinaria".

La relación entre teoría y experiencia puede entenderse también como un proceso de Aprendizaje a través del cuál una teoría resulta reforzada positiva o negativamente en función de los resultados experimentales.

Debatir en qué medida una teoría científica se contrasta con experiencias aisladas o con un sistema de experiencias emanadas de una realidad compleja.

Actividad 1.5. Según Comte, a lo largo de la historia el pensamiento pasaría de la fase "teológica" (fetichismo, causas sobrenaturales...) a la "metafísica" (estudio de propiedades) y de ésta a la "positiva" (leyes que gobiernan los fenómenos). Este proceso se produciría paulatinamente respecto a distintos aspectos de la realidad, de menor a mayor "complejidad", generándose así sucesivamente distintas disciplinas científicas: Física, Química, Biología, Sociología... Según Ken Wilber, una disciplina "superior" que estudia realidades más complejas no puede violar las leyes de una disciplina "inferior", pero dichas realidades no pueden explicarse exclusivamente por dichas leyes.

Ahora bien, habiendo sido la Física la primera disciplina científica en desarrollarse, el método científico tradicional se elaboró de acuerdo con sus características, como ciencia que estudia propiedades comunes a todos los procesos materiales. Pero a medida que se estudian realidades más complejas la "reducción" y la "repetición" se hacen más difíciles y se hace más necesario trabajar con totalidades en la que lo específico adquiere mayor relevancia.

Intentar describir experimentos repetibles en Física, en Química, en Biología y en Ciencias Sociales. Analizar también en qué medida las leyes son "generales" o "especiales" en unas y otras ciencias.

¿Por qué el diseño de golpe de Estado (protestas callejeras seguidas de un levantamiento militar) que triunfó en Chile en 1973 fracasó en Venezuela en 2002? ¿En qué medida el conocimiento de la historia puede prevenir su repetición?

Activitat 1.6. El método "analítico", "reduccionista", propio del paradigma mecanicista, requiere "aislar" una determinada porción de la realidad. Ahora bien, según el Segundo Principio de la Termodinámica, un sistema "aislado", cerrado, no puede aumentar su contenido de información, su complejidad, sino que tiende a degradarse, a desorganizarse, a aumentar su "entropía". Por ello, aquellos procesos materiales en los que es esencial el aumento de su información, y el desarrollo de su complejidad no pueden ser sistemas "aislados" ni pueden ser explicados plenamente con una metodología "reduccionista", sino que es imprescindible tener en cuenta las interacciones con su entorno: de acuerdo con Ilya Prigogine, en un Sistema Abierto el incremento de entropía viene dado por $dS = d_i S + d_e S$, donde $d_i S$, que mide la entropía producida en el sistema, no puede ser negativa (será positiva siempre que se den procesos irreversibles), pero $d_e S$, que mide la entropía transmitida desde su entorno, puede ser positiva o negativa; de este modo, si la disminución de entropía por $d_e S < 0$ supera el aumento de entropía por $d_i S > 0$, puede darse $dS < 0$, con lo cual la entropía del Sistema Abierto disminuiría, aumentando su organización con la información acumulada en el mismo.

Analizar si los siguientes procesos materiales pueden explicarse con una metodología "reduccionista" como sistemas aislados:

- a) La combustión en el motor de un submarino
- b) El ciclo del agua en el planeta Tierra
- c) El choque de protones en el LHC del CERN
- d) El crecimiento de una planta
- e) La descomposición de un cadáver
- f) El aprendizaje de una asignatura

2. Seguir la formación del paradigma sistémico:

Actividad 2.1. La aparición y desarrollo del método científico tradicional a través de las distintas disciplinas científicas, con raíces en el pensamiento griego y que tiene su eclosión en la Revolución Científica del siglo XVII, coexiste con rasgos de pensamiento pre-sistémico:

- las leyes generales que rigen entes que evolucionan en la dialéctica de Heráclito (540-475 a.C.),
- los propósitos de los objetos del mundo en la teleología de Aristóteles (384-322 a.C.),
- el holismo globalizador de Aristarco (310-220 a.C.),
- la interdisciplinariedad de Gassendi (1592-1650),
- los isomorfismos entre sistemas concretos de naturalezas radicalmente diferentes en Newton (1642-1727),
- el desarrollo evolutivo en la transición a la revolución industrial en Vico (1688-1744), de los organismos en Bulton (1707-1799), en el sistema filosófico de Hegel (1770-1831), de las especies en Darwin (1809-1882), de los modos de producción en Marx (1818-1883).

Pero ello se produce en el marco de una hegemonía creciente de lo que llamamos método científico tradicional (basado en el reduccionismo, la repetición y la refutación) plasmado en distintas disciplinas científicas alrededor del paradigma mecanicista. Este paradigma entrará en crisis en la primera mitad del siglo XX, a raíz de la revolución científica que lleva de la Mecánica Clásica (sobre la cuál se había construido dicho paradigma) a la Mecánica Relativista, Cuántica y No Lineal. En la segunda mitad del siglo XX emergerá el nuevo Paradigma Sistémico integrando las aportaciones de la Investigación Operativa, la Teoría General de Sistemas, la Cibernética, la Teoría de la Información y las teorías de catástrofes y fractales.

Discutir, a la luz de la antinomia repetición-evolución,

- a) en qué medida es posible encajar en el paradigma mecanicista las nuevas disciplinas que se van desarrollando entre los siglos XIX y XX, como la Biología, la Psicología o la Economía;
- b) en qué medida es razonable sostener que como las cosas han ocurrido de determinada manera en el pasado, continuarán ocurriendo así en el futuro;
- c) si es suficiente conocer el mundo, o hay que cambiarlo.

Actividad 2.2. Para la Gestión de problemas reales en la vida social (en lo que originalmente se llamó "*Ciencia del Management*") hay que precisar los objetivos a conseguir, considerar las distintas decisiones a tomar y las actividades a realizar, evaluar las desviaciones entre los resultados obtenidos y los objetivos perseguidos e introducir las consiguientes correcciones en las decisiones. Pero para realizarlo de modo eficiente (en lo que se ha llamado "*Investigación Operativa*") se diseña un Modelo del problema real y se aplican a dicho Modelo las técnicas reduccionistas y de repetición de experimentos propias del método científico tradicional. Puede comenzarse con un Modelo sencillo y posteriormente hacerlo progresivamente más complejo introduciendo nuevas variables y relaciones para adaptarse al problema real a resolver.

Por ejemplo, para resolver el problema del suministro de agua a un conjunto de edificios haciendo mínima la longitud total de las tuberías, comenzar resolviendo el problema en un modelo sencillo con tres edificios A, B y C situados en los vértices de un triángulo equilátero (el agua debe partir de un punto inicial de suministro exterior al triángulo y volver al mismo para su posterior depuración).

Actividad 2.3. El desarrollo de la Biología requiere un modelo de "complejidad organizada" con una jerarquía de niveles, en los que el nivel más complejo tiene propiedades "emergentes" que no se dan en el nivel inferior. La "**Teoría General de Sistemas**" (1947) de Bertalanffy aplicará dicho modelo a todo tipo de globalidades complejas ("organismos"). Escoger un organismo cualquiera, definir sus distintos niveles de organización y describir propiedades emergentes de los mismos.

Actividad 2.4. El desarrollo de un organismo requiere que sea un Sistema Abierto que incremente su información interaccionando con su entorno, de modo que sus niveles jerárquicamente superiores controlen a los inferiores en función de los objetivos del organismo. De este modo, al mismo tiempo que los niveles superiores deben cumplir las leyes generales de los inferiores (como las leyes de la Física o de la Química), la manera como se implemente la aplicación de estas leyes en los niveles inferiores (por ejemplo, los procesos físicos o las reacciones químicas específicas que ocurran) depende de las propiedades emergentes de los niveles superiores. Estos procesos se dan tanto en organismos biológicos como en máquinas artificiales, tal como explica Norbert Wiener en "**Cibernética o control y comunicación en el animal y la máquina**" (1948) a través de procesos de retroalimentación en los que la información sobre los resultados de las acciones del sistema repercute en las acciones posteriores del mismo.

Analizar, en el organismo escogido en la actividad anterior, cuáles son los objetivos del organismo y de qué modo la persecución de los mismos condiciona la actividad de sus niveles inferiores.

Actividad 2.5. Shannon y Weaver desarrollan una "**Teoría Matemática de la Comunicación**" (1949) en la que calculan la cantidad de información necesaria para fijar el estado de un Sistema partiendo de una previa distribución de probabilidades de sus posibles valores, dada por su entropía $S = -\sum_i p_i \cdot \log(p_i)$. Para aproximarnos al modo de medir la cantidad de información, simplificaremos suponiendo que las distintas opciones tienen la misma probabilidad inicial.

A tal efecto, resolver el siguiente problema: dadas 9 monedas aparentemente idénticas, pero una de las cuáles (falsa) es más pesada, determinar cuál es ésta con 2 pesadas de una balanza. Para ello, en grupos pequeños, en cada grupo un miembro hará de "balanza" extendiendo ambas manos con la palma hacia arriba y decidiendo mentalmente cuál sería la moneda falsa, mientras que los demás intentarán averiguar cuál es ésta poniendo una o más monedas en ambas manos.

Una vez resuelto el problema, será fácil deducir cuántas pesadas harían falta para determinar con seguridad una moneda falsa entre 27.

En el ejercicio anterior, la unidad de información es la pesada, que permite escoger entre tres opciones ($>$, $<$, $=$). Si el problema se intentara dilucidar con preguntas binarias, de SI o NO, la unidad de información sería un bit. ¿Entre cuántas opciones equiprobables se podría escoger con n bits? ¿Si tenemos que escoger entre W opciones, cuántos bits de información necesitaremos para hacerlo?

Podemos demostrar fácilmente que esta fórmula, establecida por Hartley, se obtiene como caso particular en el caso de equiprobabilidad de la fórmula de Shannon anteriormente expuesta.

Actividad 2.6. Hasta mediados del siglo XX, se presuponía que la imposibilidad de predecir el futuro de un Sistema provenía de su carácter no determinista, como ocurría en la Mecánica Cuántica. Pero en la segunda mitad del siglo emerge la dificultad de predecir también el futuro de sistemas deterministas. Pasa a primer plano el viejo proverbio sobre la mariposa

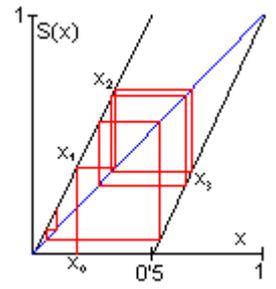
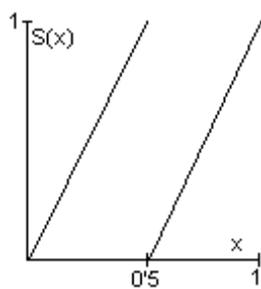
cuyo aletear en París podía provocar un huracán en Brasil: cuando la evolución de un Sistema es muy sensible a las condiciones iniciales, una pequeña variación de éstas puede provocar una gran diferencia en el resultado final, noción que se desarrolla en la **Teoría de las Catástrofes** de René Thom (1972). Si el Paradigma Mecanicista había trabajado fundamentalmente con procesos lineales, en los que el efecto era proporcional a la causa, los Sistemas No Lineales siguen frecuentemente trayectorias complejas o **caóticas**. En determinados casos, no obstante, su evolución genera estructuras emergentes a través de un proceso de **autoorganización**.

Pero frecuentemente no tienden a estados simples, constantes o periódicos, sino a lo que se llaman **atractores extraños**, como el [Atractor de Lorenz](#) (1963) generado cuando las derivadas de las coordenadas (x,y,z) valen respectivamente $x'=10(y-x)$, $y'=x(r-z)-y$, $z'=xy-8z/3$ con valores de r suficientemente grandes. Los atractores extraños suelen ser casos particulares de **fractales**, objetos de dimensiones fraccionarias que tienen la propiedad de autosimilaridad, en los que su forma genérica se repite a distintas escalas.



El atractor de Lorenz, con valor $r = 28$

Podemos generar de forma sencilla un Sistema Caótico aplicando sucesivamente el operador Shift definido por $S(x)=2x$ si $0 \leq x < 0.5$, $S(x)=2x-1$ si $0.5 \leq x < 1$, según se muestra en la figura adjunta a la izquierda. Los sucesivos valores de x pueden obtenerse gráficamente haciendo "rebotar" los trazos horizontales en la diagonal, como se indica en la figura adjunta a la derecha. También pueden obtenerse en sistema de numeración binario desplazando los "bits" (0s y 1s) un lugar a la izquierda y descartando la parte entera si aparece. Observar lo que ocurre si experimentamos con el operador Shift a partir de valores iniciales distintos pero muy próximos.



3. Aplicar el paradigma sistémico a los problemas de hoy:

Actividad 3.1. Para formular un problema y resolverlo desde el paradigma sistémico, debemos comenzar detectando los elementos o "síntomas" del mismo, y después establecer sus interrelaciones (sin predeterminedar una relación causa-efecto apriorística, como incitaba a hacer el paradigma mecanicista), a partir de las cuáles podremos construir un Modelo y "validarlo" experimentalmente o estudiando los datos previamente disponibles. Las discrepancias que encontremos deberán "retroalimentarnos" modificando el modelo para superarlas. Repetiremos este proceso hasta obtener una aproximación aceptable a los datos de la realidad. Sólo después de disponer de un Modelo correctamente validado podremos determinar sobre qué factores podemos y debemos intervenir para conseguir los objetivos perseguidos. Establecer, utilizando la técnica de "brain storming", un primer Modelo sobre el ciclo urbano del [agua](#) en pequeños municipios, detectando los elementos a considerar y avanzando hipótesis sobre sus interrelaciones (no se trata de construir un modelo desarrollado a partir de todo lo previamente estudiado en el curso, sino de realizar un esbozo uniendo todas las ideas que formulen sin cortapisas los asistentes, incluyendo las que hubieran podido ser previamente descartadas). ¿Qué debería hacerse posteriormente con dicho modelo?

Actividad 3.2. Si no se tiene en cuenta el conjunto de las interrelaciones/decisores en un

Sistema complejo, una actuación focalizada únicamente sobre un componente del mismo, como reacción a una situación generada a corto plazo y aplicando el paradigma mecanicista (aislando una parte del problema) puede tener efectos contraproducentes a medio o largo plazo. Poner ejemplos sobre casos en los que el "remedio" puede ser peor que la "enfermedad".

Actividad 3.3. Precisamente para evitar que ello ocurra es necesario recurrir al enfoque sistémico, teniendo en cuenta la globalidad de las interrelaciones/decisiones, que el éxito de un miembro de un Sistema complejo interrelacionado puede depender del éxito de todos los demás (en "[una asociación en que el libre desarrollo de cada uno condicione el libre desarrollo de todos](#)") y que es necesario considerar las consecuencias no sólo a corto plazo sino también a medio y largo plazo. Reflexionar colectivamente sobre cómo podríamos actuar para evitar los efectos "perversos" de la aplicación del paradigma mecanicista en los casos enunciados en la actividad anterior.

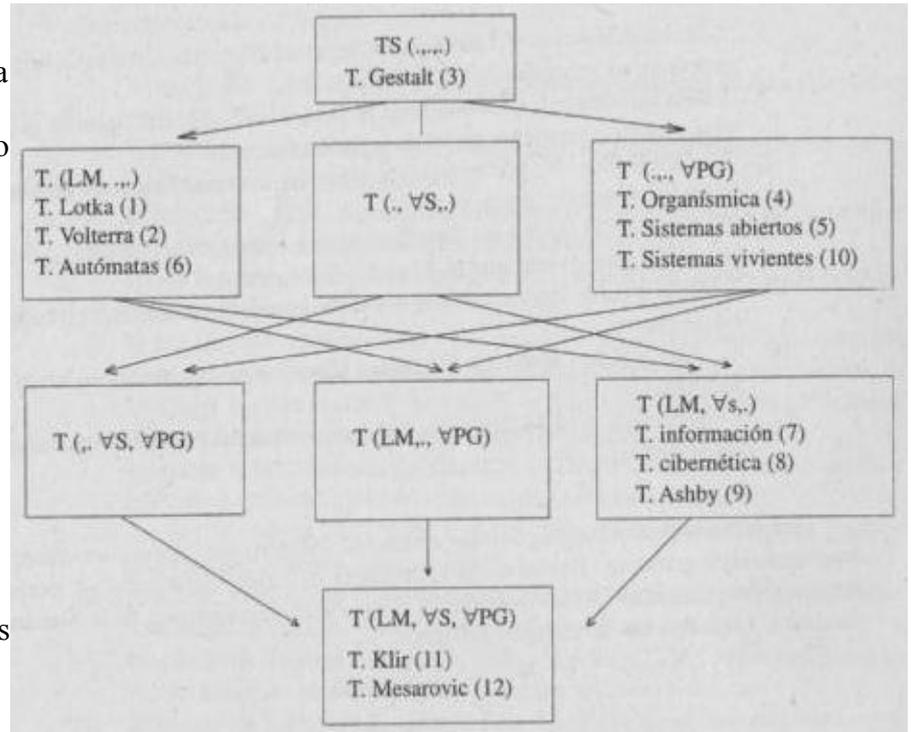
Actividad 3.4. Según Miller (1978), los **Sistemas Vivientes** de diferentes niveles (células, órganos, organismos, grupos, organizaciones, sociedades y Sistemas Supranacionales) poseen un Suprasistema en su caso y 19 Subsistemas críticos que transfieren Materia, Energía e Información (reproductor, frontera), Materia y Energía (ingestor, distribuidor, conversor, productor, almacén, expulsor, sostén, motor) o Información (transductor de entrada, transductor de salida, transductor interior, canal y red, decodificador, asociador, memoria, decisor, codificador), y sufren un proceso a través del cuál nacen, se mantienen integrados persiguiendo sus objetivos a través de interacciones con su entorno, sufren "patologías" con desajustes entre sus Subsistemas, eventualmente se reproducen y finalmente entran en decadencia y terminan cuando no pueden ajustar sus variables esenciales o no pueden mantener la cohesión entre sus subsistemas. Definir un Sistema Social (un Sistema Viviente de alguno de los 4 niveles superiores) en el cuál se puedan identificar los [19 Subsistemas críticos](#).

Actividad 3.5. A través de isomorfismos (correspondencias entre los elementos y sus relaciones) entre los Sistemas Vivientes de distintos niveles, estudiados por distintas "disciplinas" científicas, se puede intentar aplicar "inductivamente" Modelos validados en niveles inferiores para cubrir huecos ("gaps") en niveles superiores. Formular isomorfismos entre problemas que aparecen en el nivel de Sistemas Supranacionales (por ejemplo, la crisis financiera global) y problemas de niveles inferiores. Indicar cómo podría utilizarse información sobre la resolución de problemas en tales niveles inferiores (estudiados por una o más disciplinas) para abordar el problema en el nivel superior, y qué equipos interdisciplinarios convendría formar para ello.

Actividad 3.6. A partir de un Modelo genérico validado para Sistemas Vivientes de todos los niveles, puede especificarse y aplicarse "deductivamente" a distintos niveles mediante distintos Modelos que serán isomorfos entre sí. Discutir en qué medida el pensamiento sistémico general puede contribuir al desarrollo de las distintas "disciplinas" científicas especializadas.

4. Vislumbrar el futuro de la Ciencia de Sistemas:

Actividad 4.1. De los 40 a los 80 la Ciencia de Sistemas se orientaba a la construcción de una Teoría General de Sistemas que utilizando un lenguaje matemático (LM) abordara el estudio de todos los problemas globales (\forall PG) en todos los Sistemas ($\forall S$), camino en el que se desarrollan una serie de Teorías presentadas jerárquicamente en la figura adjunta. Tal Teoría General de Sistemas incorpora conceptos procedentes de las Ciencias Biológicas y de las Ciencias Sociales (y también de las Ciencias de la Computación), y sirve asimismo de "puente" para trasladar tales conceptos de unas a otras.



Encontrar conceptos procedentes de las Ciencias Biológicas o de las Ciencias Sociales (o de las Ciencias de la Computación) y que se hayan "trasladado" a las otras.

Actividad 4.2. A partir de los 80 comienza un proceso de formación de científicos de diversas "disciplinas" en el pensamiento sistémico, que llegan así a combinar una preparación como "especialistas" y como "generalistas", y aplicar nociones sistémicas en su posterior investigación "disciplinaria", nociones que van impregnando el desarrollo de distintas "disciplinas", tanto las que estudian sistemas biológicos y sociales como las que intentan desentrañar la estructura física de la materia. Por su parte, esas ciencias "particulares" ya con "sabor sistémico" generan aportaciones para nuevas síntesis generalistas que desarrollen la Teoría General de Sistemas.

Buscar conceptos "sistémicos" en la formación "disciplinaria" recibida por los distintos asistentes al curso.

Actividad 4.3. En las últimas décadas del siglo XX se generaliza el uso de ordenadores como instrumento para la investigación científica, y adquieren un nuevo impulso las matemáticas "discretas" orientadas al cálculo con ordenadores y la simulación de Modelos por ordenador. Se desarrolla Internet como una red global de comunicación mundial. La noción de autoorganización, apoyada en la cooperación de distintos sistemas, adquiere nueva relevancia para estudiar la emergencia a partir de situaciones caóticas (como la que ha conducido a la crisis financiera global de 2008).

Estudiar procesos de autoorganización en sistemas de diferente naturaleza, y analizar en qué medida pueden ayudar a resolver los problemas con los que se encuentran dichos sistemas para su supervivencia.

5. Estudiar la formación de sistemas y suprasistemas en Latinoamérica:

Actividad 5.1. Realizar un [cuadro](#) o cuadros de los Sistemas-Estados en el territorio de la actual Latinoamérica y sus distintos componentes étnicos a través de su historia.

Actividad 5.2. Estudiar los distintos Suprasistemas supranacionales proyectados, existentes o en formación en Latinoamérica (la Comunidad Andina, el Mercosur, el ALCA, el ALBA...). Intentar identificar en ellos los distintos Subsistemas críticos característicos de los Sistemas Vivientes.

Actividad 5.3. Estudiar las interrelaciones entre Sistemas-Estados en Latinoamérica y sus subsistemas territoriales y los procesos de integración y desintegración en los mismos. Estudiar en particular los casos de Argentina y de Bolivia.

[Conferencia: [Actualidad del Pensamiento Sistémico](#)]

- © Este material es de dominio público y puede reproducirse libremente, en todo o en parte, sin más restricción que incluir una referencia a la autoría original y preservar el contenido de esta licencia, de modo que no se introduzcan restricciones adicionales a la difusión de cualquier texto que lo utilice.

Esta Guía Didáctica está diseñada para la realización de un curso en la Universidad de Entre Ríos con una ayuda de la AECI en el marco de la convocatoria realizada por Resolución de 6 de julio de 2007, de la [Agencia Española de Cooperación Internacional](#), publicada en el Boletín Oficial del Estado de 23 de julio

Modelización y simulación de sistemas complejos

Primera parte: Metodología

**© Antonio Caselles Moncho
Departament de Matemàtica Aplicada
Universitat de València
España
Junio de 2008**

Tabla de contenido

1 INTRODUCCIÓN AL PENSAMIENTO SISTÉMICO

2 METODOLOGIA SISTÉMICA

2.1 EL MÉTODO CIENTÍFICO Y LA TEORÍA DE SISTEMAS.

2.2 ETAPAS DE LA MODELIZACIÓN

2.2.1 La toma de decisiones y la resolución de problemas.

2.2.2 Metodología general para modelizar

2.2.3 Ayudas informáticas

2.3 DETALLES DE LA METODOLOGIA PARA LA MODELIZACIÓN

2.3.1 Descripción del problema

2.3.2 Selección de las variables más relevantes

2.3.2.1 Métodos de creatividad en grupo

2.3.2.2 El blanqueo de cajas negras.

2.3.3 Identificación de las conexiones causa-efecto entre las variables o elementos.

2.3.4 Representación funcional de las relaciones.

2.3.5 Programación

2.3.6 Análisis y gestión de datos.

2.3.7 Calibrado del modelo.

2.3.8 Verificación del modelo.

2.3.9. Validación del modelo.

2.3.10 Gestión y manejo de modelos.

2.3.11 Diseño de experimentos y procedimientos de optimización.

2.3.12 Realización de los experimentos o pruebas con el modelo.

2.3.13 Análisis de sensibilidad y control del caos.

2.3.14 Interpretación de los resultados.

2.3.15 Elaboración de documentos explicativos del estudio realizado.

2.4 APLICACIONES

2.4.1 Caso 1: demografía por cohortes

2.4.1.1 Planteamiento de objetivos y restricciones.

2.4.1.2 Selección de las variables relevantes.

2.4.1.3 Identificación de las relaciones de dependencia.

2.4.1.4 Representación funcional de las relaciones.

2.4.1.5 Programación para la computadora.

2.4.1.6 Diseño de experimentos.

2.4.2 Caso 2: lista de espera en un hospital

2.4.2.1 Planteamiento de objetivos y restricciones.

2.4.2.2 Selección de las variables relevantes.

2.4.2.3 Identificación de las relaciones de dependencia.

2.4.2.4 Representación funcional de las relaciones.

2.4.2.5 Programación para la computadora.

2.4.2.6 Diseño de experimentos.

2.4.2.7 Ejecución de los experimentos

2.4.3 Control de la estabilidad de las parejas

2.4.3.1 Planteamiento de objetivos y restricciones.

2.4.3.2 Selección de las variables relevantes.

2.4.3.3 Identificación de las relaciones de dependencia.

2.4.3.4 Representación funcional de las relaciones.

2.4.3.5 Programación para la computadora.

2.4.3.6 Diseño de experimentos.

2.4.4 Un bar que solo sirve bebidas

2.4.4.1 Planteamiento de objetivos y restricciones.

2.4.4.2 Selección de las variables relevantes.

2.4.4.3 Identificación de las relaciones de dependencia.

2.4.4.4 Representación funcional de las relaciones.

2.4.4.5 Programación para la computadora.

2.4.4.6 Diseño de experimentos.

2.5 DISCUSIÓN

2.5.1 Comparación entre eLSE y SIGEM.

2.5.2 Comparación entre MATLAB/SIMULINK y SIGEM.

2.5.3 Comparación entre STELA y/o VENSIM y SIGEM

Apéndice 1: Sistemas cibernéticos, sistemas con objetivos y sistemas vivos

Apéndice 2: Nociones de Visual Basic 6

Apéndice 3: Métodos aplicables ante la escasez de datos históricos. Prospectiva

Apéndice 4: Métodos numéricos útiles en los modelos dinámicos

Apéndice 5: Conceptos y métodos estadísticos útiles en modelos dinámicos

1. MUESTREO DE ATRIBUTOS. DISTRIBUCIÓN BINOMIAL

1.1. Conceptos básicos.

1.2. Pruebas de hipótesis con la distribución chi-cuadrado.

1.2.1. El problema a resolver.

1.2.2. χ^2 , un índice de dispersión.

1.2.3. Manejo de las tablas χ^2 .

2. MUESTREO DE POBLACIONES CON DISTRIBUCIÓN NORMAL.

2.1. Estimadores "por punto" de μ y de σ

2.2. Estimación por intervalo de μ y de σ

2.2.1. La distribución "t de Student".

2.2.2 Estimación por intervalo de μ

2.2.3 Pruebas de hipótesis sobre μ

2.2.3.1. Formación de pares.

2.2.3.2. Formación de grupos.

2.2.4. Pruebas de hipótesis sobre σ .

2.2.4.1. Muestras de poblaciones normales.

2.2.4.2. Caso de formación de grupos.

3. REGRESION LINEAL

3.1. Objetivos

3.2. Dependencia entre dos variables

3.3. Predicción de la y a partir de la x

4. CORRELACION

5. ANALISIS DE VARIANZA

5.1. Detección de diferencias significativas entre tratamientos

Apéndice 6: Conceptos básicos de la Teoría General de Sistemas

Apéndice 7: Ficheros de entrada y de salida de REGINT para el modelo PAREJAS descrito en 2.4.3

Apéndice 8: Entradas por pantalla y fichero de salida de EXTRAPOL para la tasa de natalidad TNAT en el modelo PAREJAS descrito en 2.4.3

1. INTRODUCCIÓN AL PENSAMIENTO SISTÉMICO

El paradigma predominante hasta hace unas pocas décadas era el paradigma mecanicista, basado en las ideas de Descartes y que podríamos resumir con la frase “divide y vencerás”. Este paradigma conduce a la especialización. Es claro que un especialista es capaz de resolver un determinado tipo de problema mejor que alguien que no lo es. No obstante, existen problemas, “problemas complejos” que implican a más de una especialidad y para ser resueltos necesitan un equipo interdisciplinario de especialistas. De aquí surge el paradigma sistémico basado en las ideas de Von Bertalanffy y que podríamos resumir con la frase “el todo es más que la suma de las partes”. Este paradigma se basa en el concepto de sistema: “conjunto de elementos interrelacionados”. El Universo es un sistema, y está compuesto por sistemas de menor entidad o “subsistemas”, y estos subsistemas están compuestos por sub-subsistemas, y así indefinidamente. Cuando aplicamos la técnica “divide y vencerás” no debemos olvidar que cada una de las partes está relacionada con las demás y, si queremos aislarla por conveniencia, no debemos olvidar sus relaciones con el resto del universo.

Hasta aquí hemos hablado de “elementos” de “relaciones” de “partes” y de “el todo”. Estas son palabras muy generales. Pero, en un caso concreto ¿qué es un elemento? ¿y una relación? ¿cómo hacemos las partes? ¿a qué estamos llamando “el todo”? La respuesta a estas preguntas depende del problema que estemos estudiando, de los objetivos que persigamos. Normalmente, lo que pretendemos es hacer un “modelo” del sistema de la vida real sobre el que estamos trabajando y sobre el que queremos intervenir para resolver un problema que nos preocupa. Un modelo es como un dibujo, una maqueta, una escultura, una descripción literaria, unas ecuaciones matemáticas, quiere ser una representación aproximada, simplificada, del sistema real, de su estructura y de su comportamiento. El objetivo con el que construimos un modelo es el de obtener de él respuestas que el sistema real tardaría en darnos, sería costoso y quizá peligroso obtener del mismo. A esto se le llama “simulación”, hacer experimentos sobre el modelo en lugar de hacerlos sobre el sistema real. Claro que estas respuestas deben ser fiables. Y, si el modelo es una simplificación ¿hasta qué punto nos podemos fiar de sus respuestas? La respuesta a esta pregunta tiene dos partes. Primero, debemos asegurarnos de que el modelo es una representación “válida” de la realidad. Y segundo, conviene que calculemos la fiabilidad con la que se presentan los resultados.

Obviamente, existen métodos y tecnología que nos ayudan a llevar a buen fin lo dicho anteriormente. A continuación presentaremos una metodología (conjunto organizado de métodos) para construir modelos lógico-matemáticos de sistemas complejos de la vida real que nos ayuden a resolver el modo de intervenir sobre los mismos para lograr un determinado objetivo. Llamaremos “modelo” a una lista de variables matemáticas y a una lista de relaciones funcionales entre las mismas. Llamaremos “simulador” a la representación informatizada (programa de ordenador o aplicación informática) del modelo. Trabajaremos con el simulador para tratar de obtener de él respuestas a preguntas del tipo “¿qué pasaría si....?”, y a otras preguntas más sofisticadas.

2. METODOLOGIA SISTÉMICA

Objetivo del tema: después de una introducción al pensamiento sistémico y antes de la presentación formalizada de la Teoría General de Sistemas (presentación formalizada de conceptos y relaciones entre los mismos, demasiado ardua de entrada) se pretende dar una

primera visión de la metodología sistémica general, que normalmente conduce a la construcción de modelos ad-hoc para cada tipo de problema, para experimentar sobre ellos y, como consecuencia, tomar decisiones. Se proponen, por tanto, los siguientes objetivos de aprendizaje:

1. distinguir entre modelos mentales y modelos para computadora, modelos cualitativos y modelos cuantitativos, modelos discretos y modelos continuos, etc.;
2. adquirir un conjunto de métodos para la construcción de modelos;
3. aplicar estos métodos a la construcción de algunos modelos de sistemas complejos "sencillos".

2.1 EL MÉTODO CIENTÍFICO Y LA TEORÍA DE SISTEMAS.

La construcción de modelos lógico-matemáticos y de simuladores sigue el método científico. Asumimos que trabajamos "científicamente", pero ¿qué es trabajar científicamente? Para responder a esta pregunta con pocas palabras podríamos decir que trabajamos tratando de asegurarnos de que lo que decimos es cierto o, al menos, tiene un grado de certeza conocido y aceptable. No obstante, somos conscientes de que cualquier explicación que damos a un fenómeno de la vida real es válida siempre provisionalmente. En los siguientes párrafos encontraremos una respuesta más detallada.

El método científico puede ser resumido de la siguiente manera (Wartofsky, 1968):

- Observación del colectivo objeto de estudio.
- Formulación de una teoría que explique las propiedades de sus elementos y de las relaciones entre los mismos.
- Uso de la teoría para la predicción de eventos relacionados con el colectivo.
- Experimentación-para determinar si las predicciones son acertadas o no. Cuando no lo son procede modificar la teoría o aparcarse el problema provisionalmente (Kuhn, 1962).

Una teoría es siempre provisional y se mantiene mientras no se observen sucesos importantes que esta teoría prohíbe. Cuando uno de estos sucesos aparece procede modificar la teoría a fin de explicar este suceso y todos los anteriores, usando la imaginación, la observación y la experimentación cuantas veces sea necesario. El punto de comienzo no es necesariamente la observación porque el investigador puede tener suficiente conocimiento previo del colectivo objeto de estudio para poder elaborar su primera teoría. Hay situaciones en las que el concepto "programa de investigación" (Lakatos, 1970) es más adecuado que el concepto de "teoría", pero los principios inductivistas, convencionalistas, sistémicos y falsacionistas que subyacen en la anterior síntesis pueden ser mantenidos en su justa medida, por el momento. Es posible conectar la Epistemología con la Teoría de Sistemas (Buckley, 1972). La contribución más importante para la Epistemología que se deriva de esta conexión es la referencia al control. En otras palabras, la Naturaleza es algo que, no solamente puede ser observado, sino que puede ser transformado y controlado por el ser humano. Y, el conocimiento es algo más que contemplación y entendimiento. Siguiendo esta idea, es posible decir que un conocimiento es una representación fiable de una parte de la realidad. Y, llegados a este punto, consideramos conveniente recordar los siguientes conceptos:

- Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados. (Von Bertalanffy, 1972).
- Analizar un sistema es identificar sus elementos y las interrelaciones entre los mismos.
- Describir un sistema es presentar un modelo del mismo, es decir, hacer sus elementos e interrelaciones visibles y comprensibles.

- Para un observador O, un objeto M, es un modelo de otro objeto A, en la medida en que O puede obtener de M respuestas a cuestiones que se refieren a A. (Minsky, véase Melése, 1968).

Así pues, el problema del conocimiento puede ser reducido a uno o más problemas de modelización de sistemas. Puede haber diferentes clases de modelos:

- modelos verbales, que son las descripciones tradicionales, donde los elementos son conceptos y las relaciones son conexiones lógicas; modelos gráficos, como por ejemplo diagramas, dibujos, etc.;
- modelos físicos, como son las maquetas (modelos estáticos), o los simuladores de vuelo para entrenamiento de pilotos (modelos dinámicos);
- modelos de estructura, donde se representan solamente aspectos como la posición relativa o la dependencia causal;
- modelos de comportamiento, donde se representan las reacciones del sistema a las influencias externas, teniendo en cuenta aspectos tales como retroalimentación, control, etc.
- etc.

Consideramos conveniente también puntualizar la diferencia entre el significado de la palabra modelo en Lógica y en Teoría de Sistemas. En Lógica una teoría es, en síntesis, una lista de axiomas y una lista de consecuencias de estos axiomas. Y, un modelo de una teoría es un colectivo que satisface estos axiomas. En otras palabras, una teoría es un "sistema formal" (véase, por ejemplo, Hackstaff, 1966) cuyos elementos y relaciones son:

- símbolos primitivos, sin ningún significado;
 - secuencias de símbolos;
 - reglas de formación, que indican cuando una secuencia de símbolos "es una fórmula" (está bien formada, pertenece al sistema);
 - axiomas, que son las fórmulas iniciales; y
 - teoremas, que son fórmulas obtenidas a partir de los axiomas aplicando las reglas de formación;
- y un modelo es una "interpretación" de una teoría, o bien, un modelo es un sistema cuyos elementos y relaciones se corresponden con los de la teoría.

En Teoría de Sistemas la noción que ocupa la posición central es, obviamente, la de "sistema" y no la de "teoría". De aquí se puede deducir que una teoría (explicación sistemática, es decir, acertada y formal) es un modelo verbal, y/o matemático de un sistema. Es posible que existan otros sistemas que también estén en correspondencia con la misma teoría pero este es otro problema. El problema que nos interesa aquí es como obtener una buena teoría de un sistema dado. Este es el problema del conocimiento. Y la conclusión a la que creemos haber llegado es que una teoría del conocimiento es una teoría de la modelización de sistemas y que cada rama del conocimiento puede ser obtenida desde esta meta-teoría.

Modelizar un sistema comienza por identificar sus elementos y las relaciones entre ellos. La modelización se dice "multifacética" o "perspectivista", (Zeigler, 1984) porque el modelo que se construya de un sistema real depende del objetivo del modelizador. El grado de detalle al que se llegue en la descripción también depende de este objetivo. Así pues, una primera aproximación puede ser un modelo de tipo "caja negra" o "input-output", donde solo se especifican las entradas y las salidas (los datos y los resultados). Cuando se va incrementando el detalle en la descripción se va transformando esa caja negra en "caja transparente" (Bunge, 197D: y se va ajustando más el modelo a la realidad. No obstante un perfecto ajuste entre modelo y realidad solo es posible en ciertos casos particulares pero no en general. Las "teorías generales" tienen una probabilidad igual a cero, y el progreso en la ciencia consiste en

incrementar el detalle y reducir los errores (Popper, 1912). En general un modelo es aceptable cuando las diferencias entre él y el sistema real no son aparentes (incluyendo el error experimental), o cuando siendo aparentes no molestan. Cuando el objetivo del modelizador es el puro conocimiento el proceso de ajuste del modelo a la realidad puede no tener fin. El sistema real puede ser construido y/o descubierto elemento a elemento y relación a relación de modo paralelo al modelo si así lo determina el objetivo del modelizador (o colectivo investigador, obviamente), es decir, la modelización puede ser una ayuda al descubrimiento, a la creatividad, al diseño o a la construcción de sistemas reales.

En general el modelizador debe empezar por concretar: su objetivo y la parcela de la realidad que desea considerar. El "nivel de resolución" o grado de detalle depende de ese objetivo y es difícil de determinar a priori. El proceso de modelización es esencialmente cíclico, es decir, que vuelve atrás para corregir resultados de etapas anteriores como consecuencia de los resultados de etapas posteriores que conllevan contrastes con la realidad. Esto es lo que tradicionalmente se describe como un proceso de "observación-inducción-deducción-experimentación" con ciertas restricciones (véase Wartofsky, 1968). El avance de este movimiento cíclico es, primero en el sentido de un mejor ajuste del modelo a la realidad y después en el sentido de una mayor desagregación, hasta lograr la satisfacción del modelizador. El punto de partida es probable que no sea la "observación" porque el modelizador generalmente cuenta con suficiente conocimiento del sistema como para construir su primer modelo o "teoría". Este primer paso no es normalmente un paso lógico en el estricto sentido de la palabra "lógico" (véase Lakatos, 1971). La intuición, la imaginación o un "principio inductivo" extra-metodológico, puede intervenir de manera importante en este punto. La primera teoría y las consecutivas son siempre convencionales y provisionales. (Teoría: establecimiento acertado y formal de elementos y relaciones: modelo verbal y/o matemático). De esta primera teoría se pueden sacar muchas consecuencias que deben ser contrastadas con el sistema real. Esto conlleva la realización de una serie de experimentos cuyos resultados determinarán el grado de ajuste entre el modelo y el sistema real. Si este grado satisface al modelizador este aceptará el modelo para sus propósitos, y si no, volverá a la teoría y/o al sistema real y cambiará, encontrará o construirá los elementos y las relaciones que se requieran a fin de que una nueva serie de experimentos muestre un grado de ajuste mejor que el precedente. La palabra "validación" es probablemente una de las más adecuadas para expresar que se desea lograr un grado de ajuste provisionalmente suficiente. Otras palabras como verdadero o falso, corroboración y falsificación o verificación (Popper, 1976) también han sido usadas en relación con una teoría. Cuando el sistema real es muy complejo y no está bien definido desde el principio, el proceso de modelización es un auténtico "programa de investigación", donde el modelo se construye sección a sección (bloque, o submodelo), para después conectar estas secciones (también mal definidas) como un rompecabezas. Por otra parte, un proceso muy complejo necesita más de una, quizás muchas personas, y posiblemente más de una generación para su desarrollo. En este caso coexisten diferentes opiniones sobre los principios básicos del proceso de modelización (el "núcleo firme" de Lakatos, o el "paradigma" de Kuhn) y sobre la manera de desarrollarlos (la "heurística positiva" de Lakatos). El proceso de ajuste de un modelo a gran escala al sistema real correspondiente implica muchos cambios en el modelo y/o en el sistema. Estos cambios pueden tener mayor o menor entidad dependiendo del tamaño y de la situación de la parte a renovar. Los cambios que afectan a un "núcleo firme" o a un "paradigma" pueden ser "revoluciones científicas" (Kuhn, 1962). Los cambios que afectan a hipótesis auxiliares a fin de explicar nuevos "sucesos" se llaman cambios "ad hoc". Mucho se ha escrito en relación con el grado de ajuste de un modelo a la realidad. Cuestiones tales como ¿Cómo encontrar la verdad? (Bacon-Descartes), o ¿Es posible la certeza absoluta, o encontrar las explicaciones más profundas? (Hume-Kant), condujeron el problema de evaluar y comparar teorías a la

metodología de Popper (véase Watkins, 1980, por ejemplo) y a la metodología de Lakatos. Hay opiniones (Miller, 1976) en el sentido de que la similitud entre una teoría y la verdad no se puede expresar mediante una definición formal, o en el sentido de que el contenido en verdad o falsedad de dos teorías no es comparable, estas "ven el mundo de maneras diferentes" (Feyerabend, el último Wittgenstein). Pero probablemente sí es posible construir un índice que evalúe el grado de ajuste entre un modelo dado y un sistema real dado (Caselles, 1984). Este índice, como todo modelo, será siempre convencional y provisional y perfectible, y permanecerá vigente mientras sea útil o suficiente para los propósitos que se le asignen.

2.2 ETAPAS DE LA MODELIZACIÓN

2.2.1 La toma de decisiones y la resolución de problemas.

Imaginemos que nos encontramos ante un problema en un sistema complejo. Es decir, tenemos que tomar decisiones respecto al sistema a fin de maximizar o minimizar algo. El pilotaje de los sistemas complejos necesita de modelos y de computadoras para ser eficiente. Construir un modelo que estime la fiabilidad de sus resultados, sobre un sistema complejo puede ser una tarea descorazonadora, necesita de muchas horas de trabajo y de muchas personas, y además el modelo necesita una puesta al día constante porque los sistemas reales evolucionan muchas veces de manera imprevisible. Por consiguiente, para que los modelos sean un instrumento eficaz de ayuda en la toma de decisiones deben poder ser construidos y actualizados de manera poco costosa. Para ello y una vez más necesitamos a las computadoras. Pero su uso está condicionado por la metodología que se utilice para la modelización. Existen diferentes metodologías para modelizar sistemas reales con diferente eficiencia y generalidad. Caselles (1993b) propone una metodología que parece bastante general y eficiente. Vamos a estudiarla y a compararla con otras metodologías alternativas.

2.2.2 Metodología general para modelizar

Nosotros entendemos por metodología un conjunto de métodos organizados con un fin determinado. Checkland (1981) hace una discusión bastante extensa sobre los posibles significados de la palabra metodología. Una metodología general para construir modelos sería muy de desear. Gorokov (1985) llama "configurador" a un hipotético modelo universal válido para todos los sistemas. Este configurador debería incluir un esquema general de tipo ontológico y un esquema general de comportamiento, debería asumir y sintetizar las diferentes aproximaciones a la modelización, y debería ser capaz de integrar modelos parciales o específicos en uno más complejo. Este configurador no existe todavía. Hay diferentes metodologías para modelizar pero todas ellas están restringidas en algún sentido (véase por ejemplo, Gelovany, 1985 y O'Keefy, 1989).

Caselles (1993b) propone un proceso modelizador que trata de organizar métodos parciales y trata de integrar las ideas de Forrester (1961 y 1966), Checkland (1981), Morecroft (1982), Balci (1986), Mathewson (1989), Zhang et al. (1990) y Caselles (1992 y 1993a). Este proceso es el siguiente (más adelante se detalla).

1. Descripción del problema. Esto es, especificación de los objetivos y de los condicionantes en lenguaje natural. Se sugieren como métodos adecuados para ello el Brainstorming, el Delphi y similares.

2. Construcción de un modelo conceptual.

2.1 Elección de los objetos, elementos o variables que tengan alguna relación con los objetivos propuestos. Métodos que se sugieren: Brainstorming, Delphi, y similares.

2.2 Identificación de relaciones causa-efecto entre los elementos seleccionados. Métodos sugeridos: Diagrama Causal, Diagrama de Subsistemas, Diagrama hidrodinámico o de Forrester (véase Morecroft, 1982), Análisis Multivariante, y métodos similares.

2.3 Asignación de una representación funcional a las relaciones detectadas. Es decir, escribir dichas relaciones (una variable dependiendo de otras) como ecuaciones y/o tablas y/o reglas lógicas. Métodos sugeridos: Brainstorming, Delphi, Regresión, Ecuaciones Diferenciales, Integración numérica, etc.

3. Programación del modelo para una computadora o instrucción de un grupo de expertos (generalmente el mismo que ha construido el modelo conceptual) sobre la estructura y el comportamiento del mismo. Métodos que se sugieren: Hoja de Cálculo, Generadores de aplicaciones (herramientas CASE), Lenguajes de Simulación, Interpretadores de Descripciones (Davies y O'Keefy, 1989), técnicas de Dinámica de Grupos humanos (para modelos mentales o "soft"), etc.

4. Calibrado del modelo. Algunos tipos de modelos requieren esta operación, que consiste en asignar un valor lo más adecuado posible a los parámetros del modelo una vez construido este. Ello se suele lograr con los métodos de prueba y error o con estudios específicos.

5. Análisis de sensibilidad. Algunos tipos de modelos y concretamente los que requieren de la operación de calibrado necesitan también del análisis de la sensibilidad de las variables endógenas frente a pequeñas variaciones de los valores de los parámetros. También esto se suele lograr por los métodos de prueba y error o por estudios específicos.

6. Evaluación de la validez o utilidad del modelo para el logro de los objetivos propuestos. Métodos que se sugieren: establecimiento de reglas y/o ecuaciones y/o tablas para determinar el grado de ajuste entre el modelo y el sistema real.

7. Diseño de experimentos o de procedimientos de optimización para ser realizados sobre el modelo. Métodos sugeridos: los de la Estadística y la Investigación Operativa, escenarios y estrategias, etc.

8. Realización de los experimentos o procedimientos de optimización diseñados. Métodos que se sugieren: simulación sobre computadora, simulación sobre un grupo humano (para la aproximación "soft") y similares.

9. Presentación de los resultados obtenidos. Métodos sugeridos: elaboración de tablas, gráficos, dibujos, documentos, etc.

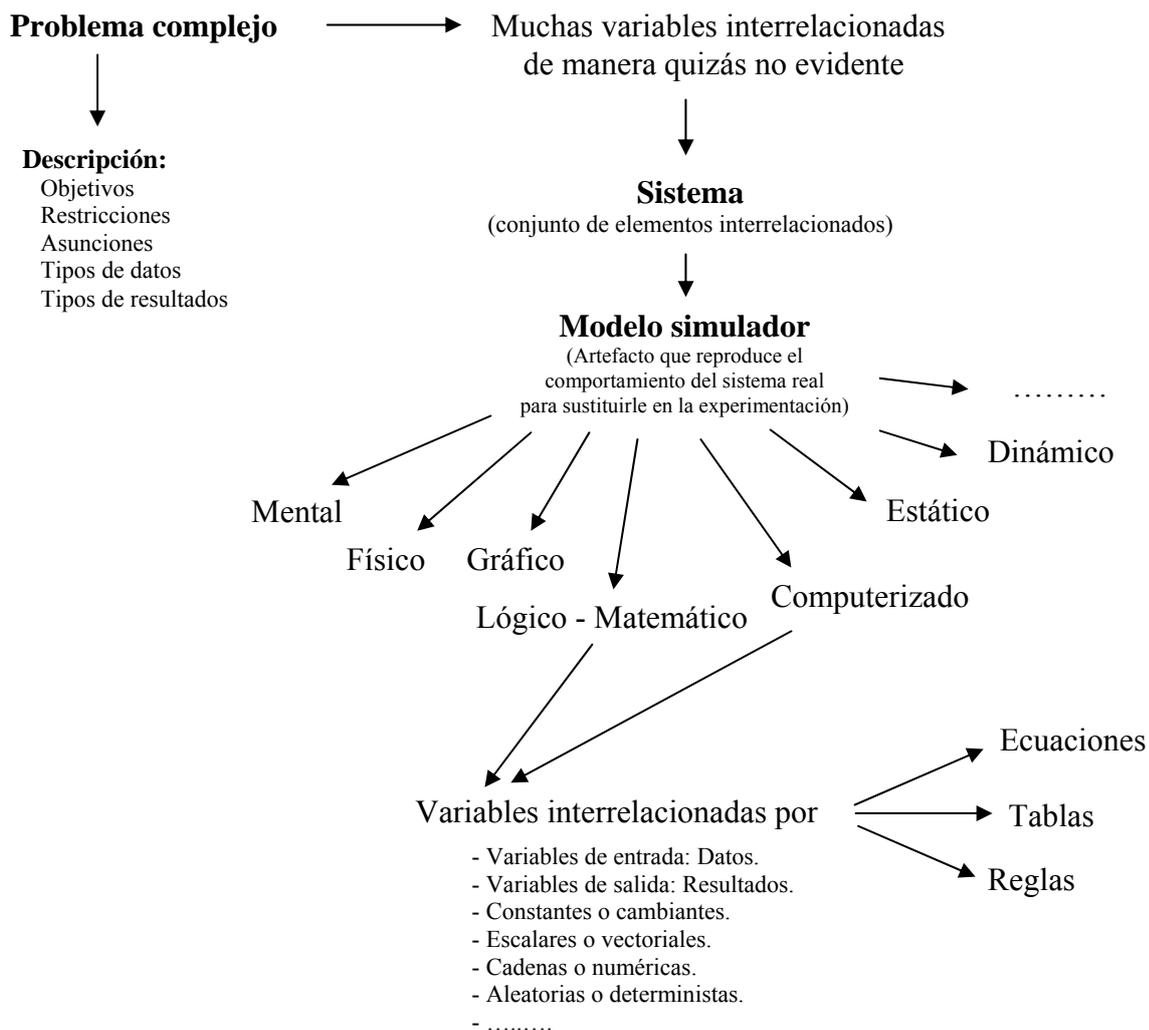
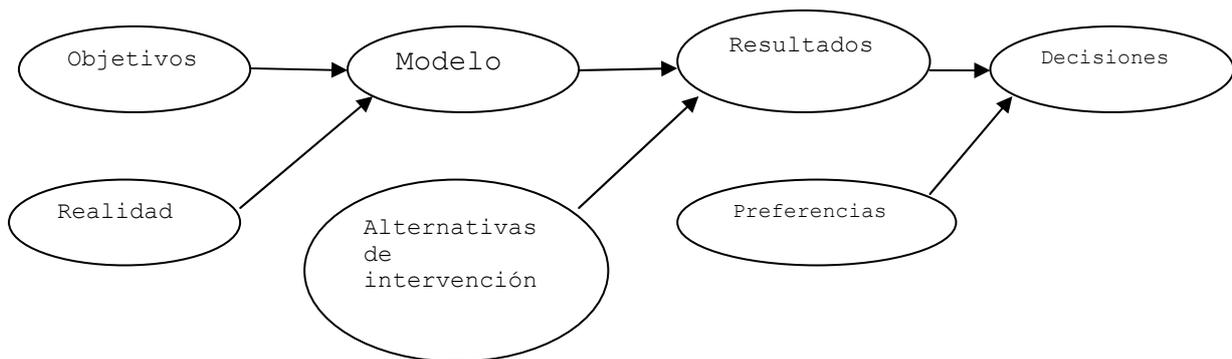
10. Toma de decisiones. Métodos sugeridos: los de la Teoría de la Decisión.

El proceso anterior es secuencial, pero:

a. Es necesario un proceso de verificación en cada paso. Es decir, hay que comprobar que cada paso ha sido bien ejecutado. Esta comprobación conduce al equipo, además de a corregir errores, a volver atrás y rehacer y/o modificar los pasos anteriores y sus resultados. Cada

paso conduce al equipo modelizador a descubrir nuevos elementos, relaciones y/o objetivos que no habían sido tenidos en cuenta en los pasos anteriores, y como consecuencia a modificarlos o a reconsiderarlos. Los datos de campo son necesarios en la mayoría de los pasos. Por tanto, la adquisición de datos, su gestión, análisis y validación están siempre presentes. Así pues, la situación podría resumirse de la siguiente manera:

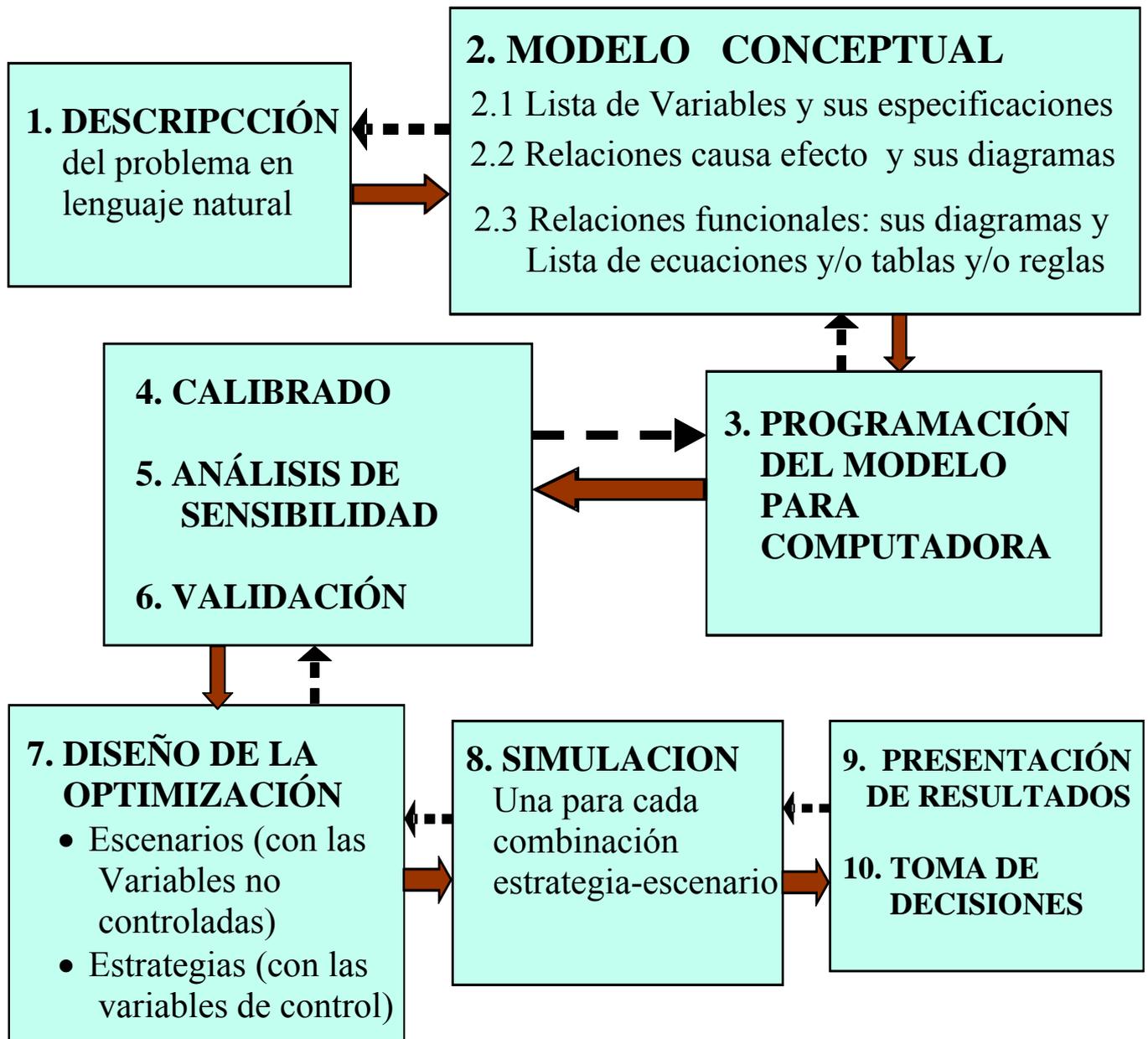
Figura 1. Problema complejo v su simulador



Obsérvese que el proceso modelizador que se propone trata de integrar las metodologías "soft", basadas en modelos mentales, (Checkland, 1981), y las "hard", y con respecto a esta últimas, la aproximación "inductiva", basada en los datos de campo, (Klir, 1985, por ejemplo), y la aproximación "deductiva" o realista, basada en estructuras y comportamientos hipotéticos propuestos para el sistema (Zeigler, 1984 por ejemplo).

El grafico de la Figura 2 puede también ayudar a visualizar el proceso descrito.

Figura 2. METODOLOGÍA DE MODELIZACIÓN GENERAL:
trama que guía un conjunto organizado de métodos



2.2.3 Ayudas informáticas

Cada uno de los pasos descritos en el punto 2.2.2 puede ser realizado con métodos que pueden incluir ayuda informática. El proceso completo podría ser realizado dentro de un entorno informático. La necesidad y las características de esta clase de entorno son estudiadas por Balci (1986). Un entorno de este tipo ya comercializado pero restringido a una clase de problemas muy específica es descrito por Standbridge (1985). En el futuro, interfaces que usarán el lenguaje natural guiarán el proceso completo dentro de los entornos de modelización. Hoy en día las herramientas de modelización más modernas inciden en los pasos 2.2, 3 y 9. Las que inciden en los pasos 2.2 y 9 son, generalmente, herramientas de uso general en los campos gráfico y/o estadístico. Las que inciden en el paso 3 pueden ser clasificados en:

- Lenguajes de simulación,
- Generadores de aplicaciones,
- Interpretadores de descripciones.

La programación de un modelo para una computadora puede realizarse con un lenguaje de programación de tipo general (C, PASCAL, BASIC, FORTRAN, etc.) o con un lenguaje especialmente diseñado para ahorrar tiempo de programación cuando tratamos con modelos de determinados tipos. Por ejemplo, un tipo muy común de problemas que se dan en la industria son los que conducen a modelos llamados de redes de colas, que se asocian generalmente con la llamada "simulación de sucesos discretos" (DEVS) (véase por ejemplo, Davies y O'Keefe, 1989). Alrededor de este tipo de simulación se ha desarrollado una metodología muy completa (Zeigler, 1984, 1987, 1989, 1990). Los lenguajes de simulación más populares son SIMSCRIPT, GPSS y SIMULA. Otros lenguajes importantes son QNAP2 y STIMS. Todos ellos tienen facilidades para definir entidades, usar números aleatorios, manejar listas, elaborar tablas y gráficos, etc. Lenguajes de tipo algo más general que tienen facilidades para programar simuladores son el Mathematica y el Matlab/Simulink.

Para nosotros, generadores de aplicaciones o generadores de programas son programas que dialogan con el usuario, interpretan sus respuestas y construyen otros programas que pueden ser compilados y ejecutados de manera independiente, fuera del generador, con el fin de ejecutar las simulaciones diseñadas por el usuario. El uso de generadores de programas produce un considerable ahorro de tiempo, sin embargo, normalmente exigen adaptarse a una metodología muy rígida. Como ejemplos de generadores de programas adaptados a la DEVS tenemos: GRAFT (Matheuson, 1984) que puede producir programas escritos en varios lenguajes, eLSE, que genera programas en PASCAL (Crookes et al., 1986). Un generador de programas de simulación orientados a objetos llamado GASPE es descrito por Simonot et al. (1990). Zhang et al. (1990) compara un generador que usa interface de tipo dialogo con otros que usan interfaces de tipo gráfico, todos generando programas en GPSS, llegando a la conclusión de que la interface de tipo dialogo es más eficiente.

Los "interpretadores de descripciones" suelen presentar al usuario una "hoja" o menú donde el usuario da una descripción semi-formal del sistema. Esta descripción es interpretada inmediatamente. No se genera ningún programa en lenguaje fuente ni de forma que pueda ser ejecutado fuera del entorno en que ha sido producido. Tampoco se mantiene dialogo alguno con el usuario. Como ejemplos de este tipo de entornos tenemos Inter-SIM (O'Keefe, 1987) y HOCUS (Ponle y Szymankiewicz, 1987), ambos adaptados a DEVS. En esta categoría podríamos incluir también a las hojas de cálculo (EXCEL por ejemplo) y a los modernos

entornos como son el Stella y el Vensim.

En general, las ayudas informáticas a la modelización pueden considerarse como demasiado restringidas y poco eficientes respecto a lo que sería de desear. Se hace necesario progresar hacia una metodología con un máximo de ayuda informática y capaz de enfocar un amplio espectro de tipos de problemas, siendo realmente eficiente. Nosotros hemos estado trabajando en esta línea desde 1986.

El generador de programas SIGEM, fue presentado por primera vez por Caselles (1988). El amplio espectro de problemas que pueden ser tratados en la actualidad por esta ayuda informática se describe en otro trabajo (Caselles, 1991 y 1994). Este espectro va desde sistemas estáticos como bases de datos con variables numéricas y/o literales a sistemas dinámicos con variables numéricas y/o literales, con o sin incertidumbre, dimensionadas o no, y con relaciones funcionales dadas mediante ecuaciones y/o reglas lógicas y/o tablas, con o sin incertidumbre. Los programas construidos por SIGEM dialogan con el usuario, dándole indicaciones sobre cómo proceder, planteándole preguntas y menús y ejecutando sus órdenes. Con respecto a la eficiencia de SIGEM diremos que con un análisis previo del problema que se materialice en un gráfico de conexiones entre variables o en un diagrama de Forrester y en una lista desordenada de relaciones funcionales, todo ello escrito a mano en una o varias hojas de papel, en un tiempo entre varios minutos y varias horas, con un ordenador personal, el modelo se convierte en programa de ordenador listo para ser usado como un amigable sistema experto que puede ayudar al usuario a tomar decisiones sobre el problema del que entiende. Como el programa producido esta en lenguaje fuente (Visual Basic), puede considerarse como un prototipo y puede ser modificado si se considera conveniente. SIGEM está enteramente fundado sobre la Teoría General de Sistemas, con una formalización novedosa que se describe en otros dos artículos de Caselles (1992b, y 1993a).

2.3 DETALLES DE LA METODOLOGIA PARA LA MODELIZACIÓN

La metodología propuesta en 2.2 de manera esquemática, pretende ser capaz de abordar problemas tanto desde el punto de vista "soft" (con modelos mentales y discusión en equipo) como desde el punto de vista "hard" (con modelos matemáticos y computadoras). Y, en este último caso, tanto desde el punto de vista inductivo (con modelos fenomenológicos obtenidos exclusivamente a partir de datos de campo) como desde el punto de vista deductivo (con modelos realistas, propuestos por el equipo como hipotéticos, y posteriormente validados), o desde un punto de vista mixto (con subsistemas de un tipo o del otro). Detallando un poco más, con esta metodología se pueden elaborar modelos de sucesos discretos, modelos continuos, cualitativos, cuantitativos, deterministas, estocásticos, etc., puesto que las cuestiones específicas de cada tipo de modelo se corresponden con métodos específicos en cada una de las fases del proceso.

A continuación vamos a detallar algo más en cada una de las fases del proceso referido, presentando las líneas generales de los principales métodos utilizables en cada caso y ofreciendo bibliografía para un estudio más profundo de los mismos.

2.3.1 Descripción del problema

Es comúnmente aceptado que la modelización es "multifacética" o "perspectivista", es decir el modelo que se construya dependerá de los objetivos del modelizador y de las asunciones que se hagan sobre el sistema real. Así, con diferentes objetivos y/o asunciones se obtendrán diferentes modelos del mismo sistema real. Aquí estamos considerando al sistema real como sinónimo de la porción de la realidad que nos suministra datos.

Como consecuencia de este perspectivismo, el primer paso del proceso de modelización debe ser la especificación de: (a) los **objetivos del modelizador** y de (b) las **asunciones**, (c) **restricciones**, (d) **tipos de datos** y (e) **tipos de resultados**, y de todo lo que pueda tener alguna influencia sobre los mencionados objetivos. En esta fase es conveniente utilizar el lenguaje natural ayudado de tablas, gráficos, y de lo que se estime conveniente, con la máxima libertad. No obstante, suele ser suficiente para empezar una descripción somera de los ítems (a), (b), (c), (d), (e) recientemente mencionados, dado que en las fases sucesivas se encontrarán ocasiones de mejorar esta descripción. No olvidemos que la metodología incluye continuas vueltas atrás para corregir las fases anteriores como consecuencia de lo que se encuentra en las fases siguientes.

Ejemplo 1:

Objetivos.

1. Una empresa que comercializa aparatos eléctricos de gran potencia desea optimizar el número de aparatos a guardar en su almacén.

Restricciones.

1. La demanda varía de un día a otro.
5. Todas las unidades solicitadas pero no disponibles se dejan en espera y se satisfacen cuando llega una nueva remesa.

Tipos de datos.

1. El aparato que comercializa le cuesta 5000 € por unidad.
2. El costo de mantener un aparato en el almacén es del 20% de su valor al año.
3. El costo de procesamiento de un pedido de cualquier número de unidades es de 200 € por pedido.
4. Se dispone de un registro de unidades vendidas día a día y de tiempos de espera desde que el cliente solicitó hasta que se le sirvió.

De tal registro se han obtenido las siguientes tablas:

Demanda	Frecuencia relativa (%)	Tiempo de espera (días)	Frecuencia relativa (%)
0	40	1	25
1	30	2	50
2	20	3	25
3	10		

Tipos de resultados.

1. Modelo de Dinámica de Sistemas hipotético, a validar en la medida de lo posible con los datos disponibles (No será posible hacerlo por el método de predicción del pasado, dado que no existen datos de pedidos efectuados, ni de existencias día a día, ni de demanda en espera. Se validará por opiniones de expertos, es decir, “si se creen el modelo deberán creerse sus resultados”).
2. Simulaciones de la evolución del número de aparatos vendidos, en almacén y coste de mantenimiento del inventario a lo largo del tiempo durante 30 días.
3. Número óptimo de aparatos a pedir a la fábrica cada vez.
4. Existencias en almacén que debe haber en el momento idóneo para hacer un pedido a fábrica.

Ejemplo 2:

Objetivo: Determinar los flujos óptimos de agua para transvase entre las cuencas hidrográficas de un país.

Restricciones:

- Ámbito nacional y zonas por cuadrículas del mapa.
- Existen desaladoras y se pueden eliminar y/o construir otras.
- Se clasificará el agua por destinos: Población, Agricultura, Industria y Turismo.

Datos:

- Precipitaciones.
- Agua que producen y pueden producir las desaladoras actuales.
- Caudales de los ríos.
- Necesidades de la población, agricultura, industria y turismo.

Resultados:

- Trasvases. Flujos óptimos de agua entre cuencas

2.3.2 Selección de las variables más relevantes

Nosotros dividimos este paso en dos:

- identificación de los elementos involucrados en el problema; y
- asignación de una forma a dichos elementos.

La primera parte intenta detectar qué elementos u objetos intervienen o influyen en el problema, es decir, en los objetivos recientemente planteados. Al final de la misma estos elementos quedan descritos de una manera poco rigurosa, generalmente en lenguaje natural. La segunda parte persigue dar a cada elemento identificado una descripción más rigurosa y detallada o bien asociarle una variable matemática, es decir, darle un nombre explicativo preciso y conciso, un nombre codificado (abreviado), una unidad de medida (cuando sea necesario), y un rango de valores posibles (que pueden ser números, palabras, conceptos, principios, reglas, métodos, etc.), una serie de valores observados en la realidad (si es posible), y si se trata de una variable con incertidumbre, determinar, si se puede, su media, su desviación típica, clase de distribución de sus valores, y/o otros parámetros o factores definitorios que se consideren adecuados.

En esta fase se suelen utilizar: (a) los métodos de creatividad en grupos y (b) el blanqueo de cajas negras: (c) en algún caso de modelización inductiva o mixta, el Análisis Multivariante. Este último método nos permite, dado un conjunto de variables numéricas con una serie de valores para cada una de ellas, determinar cuales están relacionadas y cuáles no tienen nada que ver la una con la otra a efectos prácticos. Estas últimas pueden ser eliminadas aunque en un principio pareciera que debían ser tomadas en consideración.

A continuación detallamos estos enfoques.

2.3.2.1 Métodos de creatividad en grupo

Existen métodos que ayudan a conseguir una mayor eficiencia en el proceso de búsqueda de los factores que intervienen en el problema que se está estudiando, cuando es un equipo de personas el que lo estudia. Entre estos métodos destacamos el Brainstorming y el Delphi que son descritos con cierto detalle por ejemplo por Sage (1977).

Son métodos de creatividad grupal que tratan de corregir los **defectos del grupo de discusión tradicional**. Entre estos defectos cabe destacar los siguientes:

- La opinión del grupo acaba siendo la del miembro que más fuerte y con más frecuencia habla. Existe una cierta presión grupal hacia la conformidad, bien por el prestigio del que prestó la idea, bien por existir una mayoría clara, por cansancio, temor, etc.
- Se tratan temas de interés personal para algunos o la totalidad de los miembros del grupo antes que el tema objeto de la reunión, lo que se suele llamar "ruido".
- Intervienen multitud de factores psicológicos que pueden enmascarar o afectar a la

solución del problema así como a la duración de la reunión.

En el **brainstorming** el grupo debe nombrar un moderador, un secretario, y es conveniente que disponga de una pizarra. Es función del moderador:

- Explicar al grupo en qué consiste el brainstorming.
- Exponer lo que se desea conseguir.
- Dar la palabra a quien la tenga pedida, de modo ordenado, cuando proceda.
- Inyectar ideas o leer notas tomadas cuando el grupo se paraliza.

Es función del secretario: tomar nota de lo que se va diciendo y de las conclusiones a las que el grupo va llegando. El método tiene dos fases:

- 1ª.** Una vez el moderador ha expuesto al grupo lo que se pretende conseguir, permite a los miembros del mismo aportar ideas. Ideas que deberán ser expuestas con una o muy pocas palabras y anotadas seguidamente. No está permitido ningún tipo de discusión o diálogo. Ninguna idea se considera descabellada en esta fase.
- 2ª.** Cuando el grupo llega al punto de no aportar ya nada nuevo, el moderador insta a sus miembros a dar razones en pro y en contra de cada una de las ideas de la lista y el secretario toma nota de estas razones de forma ordenada. Agotadas las posibilidades de la primera idea se pasa a la segunda y sucesivas hasta finalizar. En la recapitulación subsiguiente es cuando se logra un mayor o menor grado de consenso sobre el resultado de la sesión.

Respecto al **método Delphi**, diremos que sigue un procedimiento análogo al brainstorming pero por escrito y por correo. Existe un equipo director y unos expertos diseminados. El equipo director elabora unos cuestionarios que envía a los expertos y analiza, sintetiza y presenta de forma ordenada las respuestas. Esta síntesis es enviada a los expertos junto con el siguiente cuestionario. En total suelen elaborarse unos cuatro cuestionarios, los dos primeros se corresponden con la primera fase del Brainstorming y los dos últimos con la segunda. El primer cuestionario presenta el problema y solicita ideas en formato muy breve (1-3 palabras). El segundo presenta una fusión y depuración de las respuestas del primero y solicita nuevas ideas. El tercero presenta la fusión y depuración de las ideas del segundo y solicita pros y contras de cada una de ellas. El cuarto funde y depura las respuestas del tercero y solicita nuevos pros y contras. Para detalles sobre cómo elaborar los cuestionarios, consideraciones psicológicas, etc. véase la bibliografía especializada (por ejemplo, Listone y Turoff, 1975). Las características más importantes del método son las siguientes:

- Obtiene respuestas simultáneas y anónimas. Ello elimina los dos primeros inconvenientes del grupo de discusión tradicional.
- Permite la interacción entre los miembros del grupo y el retorno a cada miembro de las conclusiones parciales del grupo a pesar de la separación. La separación de los miembros del grupo consigue eliminar el diálogo irrelevante y los temas de interés personal (el "ruido"), y también otros problemas psicológicos derivados del contacto entre las personas.
- El hecho de que cada respuesta a cada pregunta se tenga de modo aislado permite la interpretación estadística de los resultados.

Ejemplo:

Para el problema de las dessaladoras, a través de un brainstorming, se pidió al grupo en la

primera fase los “factores implicados en el problema”. En la segunda fase se trató de depurar la lista obtenida y obtener de ella una lista de variables con su unidad de medida (explícita o implícita). Conseguimos la siguiente lista:

- Necesidades de la población (litros/habitante y día)
- Población por zonas (matriz)
- Precipitaciones por zonas (matriz)
- Mermas (% de pérdidas por kilómetro) (zonas, matriz)
- Superficie agraria (zonas, matriz)
- Necesidades agua agraria (m³/habitante y año)
- Política: votos (zonas, matriz)
- Flujos entre cuencas o entre depósitos:
 - Flujo que circula
 - Casilla de salida
 - Casilla de llegada
 - Capacidad de la conducción.
- Cuencas hidrográficas (matriz, número de cuenca en casillas)
- Capacidad dessaladoras (matriz, capacidad en casilla)
- Ubicación de los depósitos (matriz, capacidad en casilla)
- Caudales ecológicos por cuencas (9 cuencas)
- Rentabilidades de agricultura, industria y turismo (zonas, matriz)
- Necesidades industria
- Capacidad embalses
- Capacidad conducciones
- Acuíferos
- Superficie de bosque y montes (zonas, matriz)

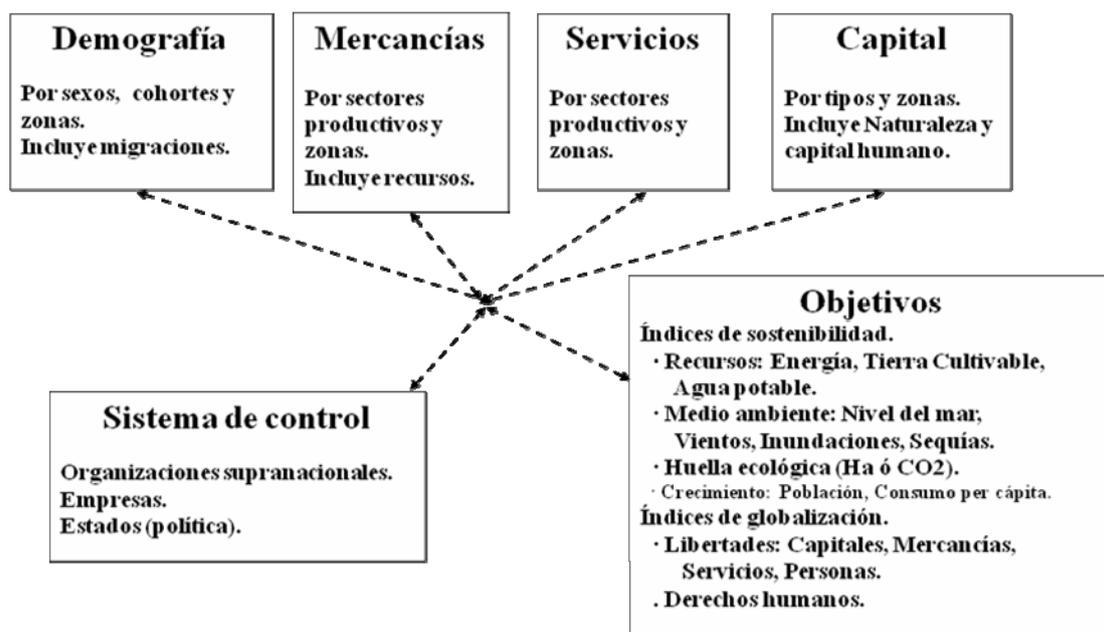
2.3.2.2 El blanqueo de cajas negras.

Entendemos por caja negra un sistema del que solo se conoce su relación con el entorno pero no su estructura y comportamiento interno. Por consiguiente, de él lo único que sabemos son las entradas y las salidas.

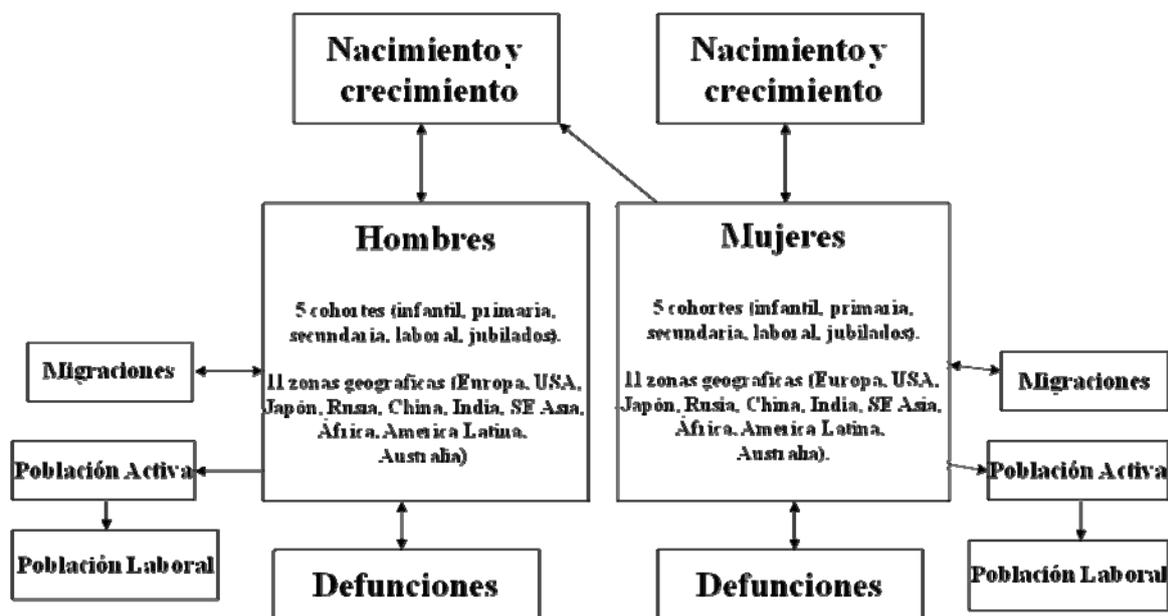
Si tratamos de blanquear una caja negra estaremos tratando de identificar otras cajas negras en su interior y las relaciones entre las mismas y con el entorno.

Ejemplo:

Para el problema de la globalización, que considera el mundo como una caja negra sin relaciones con el entorno (tendrían que ser interplanetarias), tendríamos como primer nivel de desagregación:



Y, como segundo nivel de desagregación, cada uno de estos bloques daría lugar a un nuevo gráfico. Por ejemplo el bloque demográfico se podría desagregar de la siguiente manera:



Y así sucesivamente.

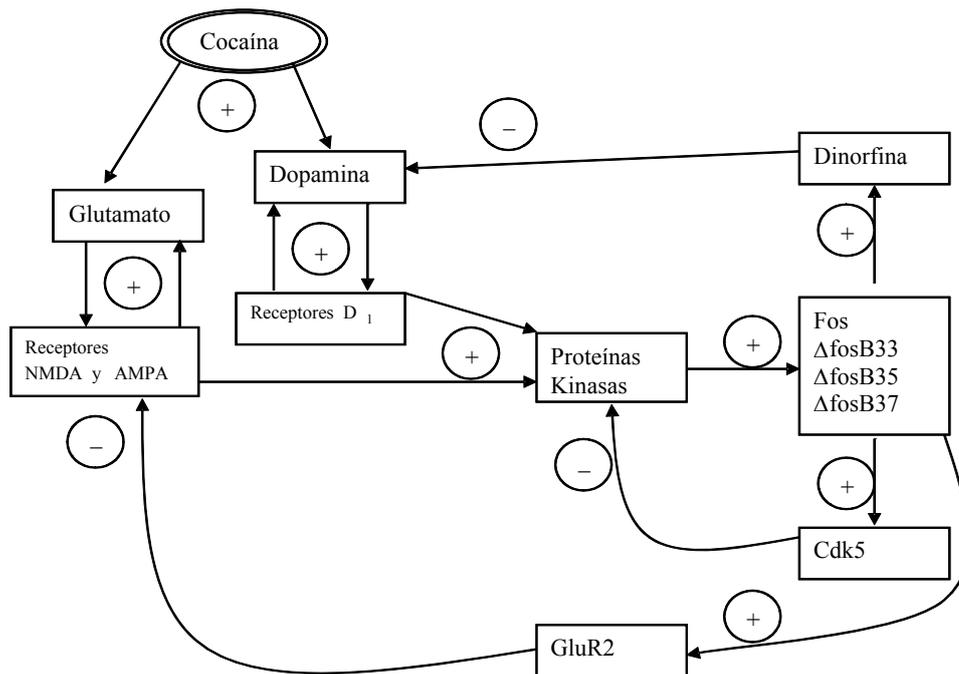
2.3.3 Identificación de las conexiones causa-efecto entre las variables o elementos.

La misión de este paso es construir una representación gráfica de la estructura del

modelo (todavía no entramos en el estudio del comportamiento). Los elementos serán los vértices del grafo y las relaciones causa-efecto serán las flechas del mismo. Un aditamento interesante a este diagrama son los signos + y - escritos junto a las flechas, indicando que se trata de una influencia positiva o negativa. Haciendo esto construiremos el **diagrama causal**.

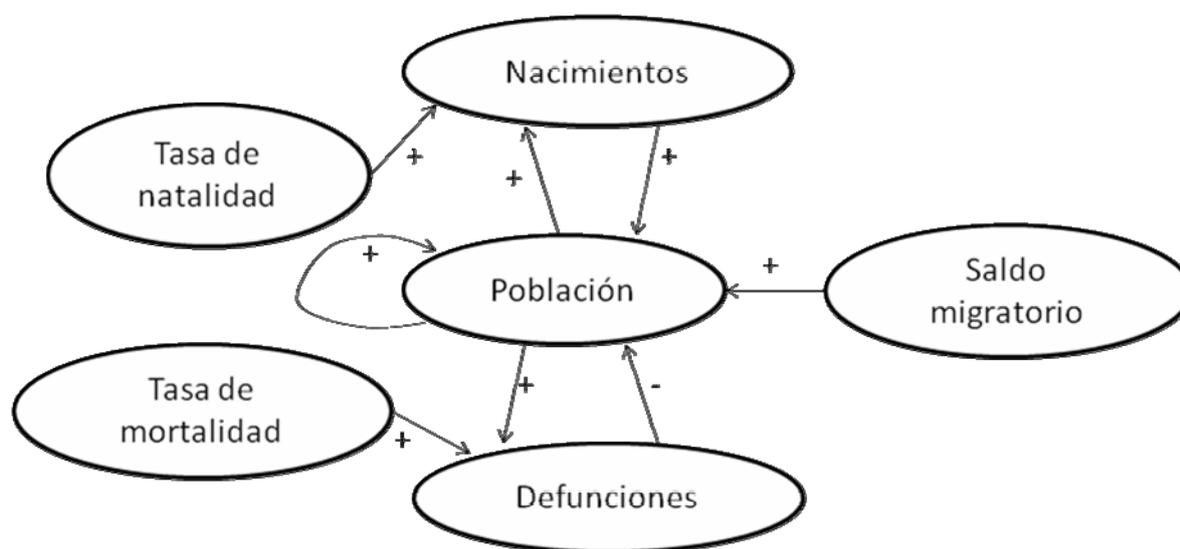
Ejemplo de diagrama causal

(Diagrama causal del modelo REGEN de regulación génica de los efectos de la cocaína.
A. Caselles, S. Amigó, J.C. Micó, 2006, pag 1 -14. Revista Internacional de Sistemas)



Demografía elemental

Diagrama causal



Del diagrama causal se deduce la matriz de conexiones, ambos definidores de la estructura del sistema. La siguiente es la matriz de conexiones correspondiente a “demografía elemental” (en ella la variable que encabeza una fila recibe la influencia de la variable que encabeza una columna, pero podría haberse escrito al revés).

	Población	Nacimientos	Defunciones	Tasa de Natalidad	Tasa de Mortalidad
Población	x	X	x	-	-
Nacimientos	x	-	-	x	-
Defunciones	x	-	-		x
Saldo migratorio	-	-	-	-	-
Tasa de Natalidad	-	-	-	-	-
Tasa de Mortalidad	-	-	-	-	-

Otro tipo de diagrama que interesa construir es el diagrama hidrodinámico o diagrama de Forrester (Forrester, 1961). Con este fin, lo primero que tenemos que hacer es identificar los siguientes tipos de variables en la lista elaborada en el paso anterior.

– Variables de estado. Son las que necesitan un valor inicial porque influyen sobre sí mismas. Estos valores iniciales son datos del problema o variables de entrada del sistema y, por consiguiente necesitan un nombre a parte. Es decir, cada variable de estado está asociada con otra variable (variable de entrada) que representa su valor inicial o previo. Conviene, por resultar más intuitivo, representar en el gráfico ambas variables, la de estado y su valor inicial, en la misma casilla. El colocar o no una flecha que indique la influencia de la casilla sobre ella misma es innecesario por obvio. Se suele usar para este tipo de variables como icono un recuadro.

- Variables de flujo o tasas. Normalmente, pero no siempre, las variables de estado son comparables a las variables "de nivel" de la metodología de Forrester (1961 y 1966) o a las "colas" en la metodología DEVS (Zeigler, 1984 etc.). Cada nivel o cola representa algo que se acumula, por consiguiente está asociada con variables que aportan ese algo y con variables que lo extraen. Estas son las que llamamos variables de flujo (las tasas, "rates" de Forrester). Una vez que las variables de estado han sido identificadas, y transportadas al campo del gráfico encerradas en un recuadro, es fácil identificar en la lista las variables de flujo relacionadas con cada una de ellas y transportarlas al grafo colocándolas en su proximidad encerradas en un recuadro unido a un aspa, que es el icono tradicional para este tipo de variables.

- El resto de las variables de la lista. Estas variables se transportan al grafo encerradas en una elipse y serán variables auxiliares o variables de entrada. Las variables de entrada, tanto si son constantes como variables exógenas o variables de control conviene distinguirlas con una doble línea en su elipse o símbolo de flujo (puede haber flujos que sean variables de entrada, es decir, datos del problema).

- En ocasiones interesa considerar un nuevo tipo de variables llamadas "retrasos" de las que trataremos más adelante.

La descripción del problema, el sentido común, u otros métodos de los que hablaremos más adelante, nos permitirán colocar flechas entre los símbolos, que expresen: (a) movimiento de algo comparable con un fluido (la población en un modelo demográfico, los materiales en un modelo de inventario, etc.) y (b) conexiones de pura influencia o causalidad, es decir, de información en general. Se suelen utilizar flechas continuas en el caso (a) y flechas discontinuas en el caso (b). No obstante, en ocasiones puede ser interesante utilizar flechas de más tipos (continuas gruesas para equipos, continuas dobles para mano de obra, etc.).

Ejemplo:

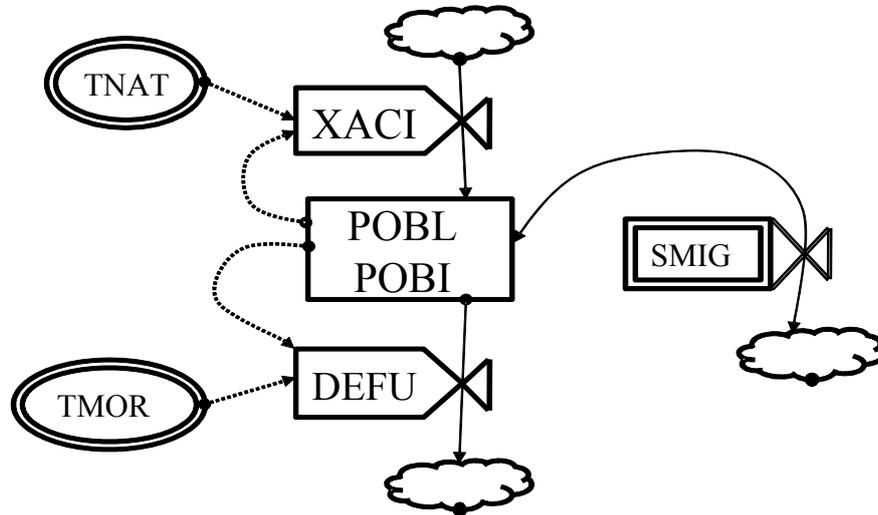
Demografía elemental

Lista de variables

- POBI Población a principio de año
- POBL Población a final de año
- XACI Nacimientos
- DEFU Defunciones
- TNAT Tasa de natalidad
- TMOR Tasa de mortalidad
- SMIG Saldo migratorio

Demografía elemental

Diagrama hidrodinámico



Interpretación de los iconos del diagrama hidrodinámico o diagrama de Forrester

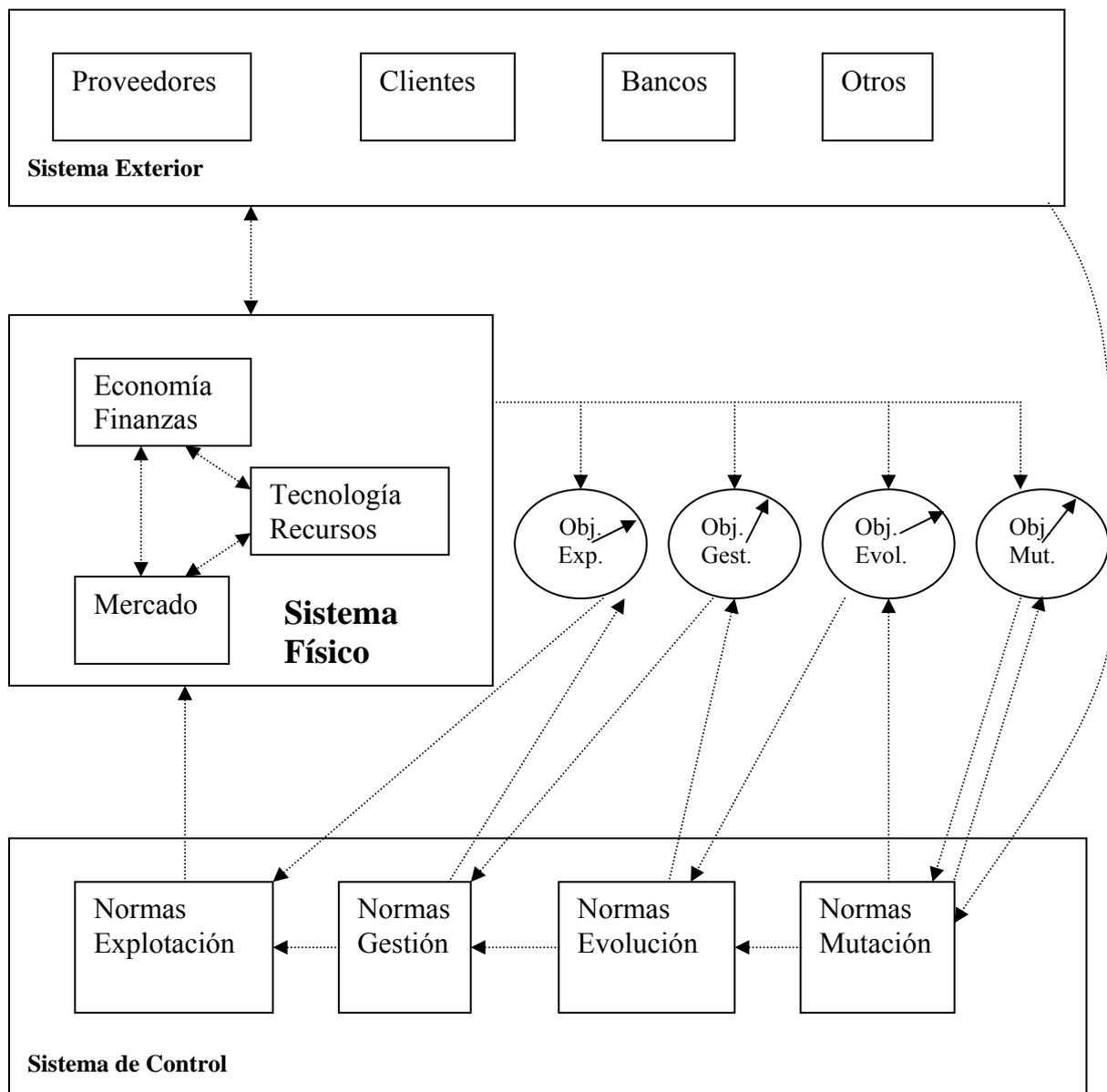
	Nivel. Algo que se acumula
	Flujo que aumenta o disminuye un nivel.
	Variable auxiliar o de salida estricta.
	Variable de entrada o parámetro (datos para el modelo).
	Fuente o sumidero.
	Material que se mueve.
	Información o influencia.

En relación con los métodos para detectar las conexiones entre elementos o variables diremos que cuando se construyen modelos de tipo mental o modelos para computadora de tipo deductivo, dependiendo de la complejidad del modelo y de los medios disponibles, se puede utilizar el sentido común, la consulta a expertos, el Brainstorming, el Delphi o similares. Cuando se construyen modelos para computadora de tipo inductivo (a partir de datos reales) o mixto, con variables numéricas se pueden utilizar métodos llamados de "análisis causal" (*) que pueden encontrarse por ejemplo en Bollen (1989).

En ocasiones, especialmente cuando el sistema es muy complejo, puede ser interesante en esta fase construir además del descrito otros tipos de diagramas pues ello ayuda a entender y a precisar la estructura del sistema. Concretamente uno a varios diagramas de subsistemas. Los subsistemas, como veremos más adelante, los define el usuario a su conveniencia, pero siempre existe uno o más conjuntos de subsistemas que resultan más intuitivos, y pueden en esta fase ser representados como elementos en un grafo de conexiones similar al descrito anteriormente, donde también pueden figurar, si se estima oportuno, las variables comunes representadas por cada flecha. Como ejemplo significativo de este tipo de diagramas está el diagrama de Ashby descrito por Melèse (1976), especialmente indicado para los sistemas con objetivos o sistemas "cibernéticos". En el diagrama del "sistema ultraestable" de Ashby se contemplan cuatro niveles de control anidados y está pensado para las empresas, y cualquier otro tipo de organización. Los sistemas vivos son un caso particular de sistemas con objetivos y para ellos Miller (1978) desarrolló toda una teoría. Mas detalles sobre esta teoría y los sistemas con objetivos pueden encontrarse en el Apéndice 1.

Diagrama del sistema ultraestable de Ashby (para sistemas con objetivos) (Aplicado al caso de una empresa)

Nivel de Control	Conoce:	Determina:	Decide a plazo:	Su actividad se llama:
Mutación	Universo Exterior	Objetivos	Muy largo	Política
Evolución	Objetivos	Medios	Largo	Estrategia
Gestión	Objetivos y Medios	Procedimientos	Medio	Táctica
Explotación	Objetivos, Medios y Procedimientos	Correcta ejecución	Muy corto o inmediato	Ejecución



2.3.4 Representación funcional de las relaciones.

La representación gráfica de la estructura del modelo muestra, por ejemplo, que una variable o elemento A depende de B, C y D. Esto significa que para obtener un valor de A debemos conocer los valores de B, C y D así como el mecanismo que los liga, es decir la función $A=f(B,C,D)$, si se utiliza el lenguaje matemático. Esta función describe el comportamiento de la variable A y puede ser representada por una lista de reglas, por una tabla, una ecuación o una lista de reglas y ecuaciones.

La forma de esta función en cada caso particular puede determinarse: por el sentido común (tautologías), por consulta a expertos individuales o en grupo (Brainstorming o Delphi), usando los métodos de la Regresión (para funciones de tipo numérico en modelos inductivos o mixtos), o bien por el método de prueba y error planteando formas hipotéticas y probándolas con datos reales (esto formaría parte del "calibrado del modelo").

A continuación se detalla las funciones más comunes que nos pueden relacionar las variables en un sistema complejo.

- a) **Tautologías:** igualdades evidentes.
Ejemplos: $4 = 2 + 2$. Lo que hay = lo que había + lo entrado – lo salido
- b) **Reglas lógicas:** Si “esto” entonces “lo otro” y si no “otra cosa”.
Que, en lenguaje de programación, sería: If “....” then “.....” else “.....”
- c) **Tablas:** la función $Y=f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ podría venir dada por una tabla parecida a esta:

X_1	X_2	...	X_n	Y
3	-1.1		0.08	24.1
5	-0.4		0.10	26.4
8	0		0.16	29.3
11	2.7		0.21	29.8
15	3.1		0.29	33.1

- d) **Ecuaciones diferenciales:** una ecuación diferencial ordinaria de orden n es una función de este tipo: $f(x, y, y', y'', \dots, y^{(n)}) = 0$, donde x es la variable independiente y $y, y', y'', \dots, y^{(n)}$ son las derivadas sucesivas de y respecto de x .

Una ecuación diferencial de primer orden solo tendría la derivada primera $y'=dy/dx$. Y si la variable independiente fuese el tiempo y la ecuación incluyese otras variables a las que llamaríamos x_1, x_2, \dots, x_n , podríamos escribir:

$$dy/dt = f(x_1, x_2, \dots, x_n, y, t) \tag{1}$$

De una ecuación diferencial nos suele interesar una “integral particular”, es decir, una función $y = F(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$ cuya derivada es $f(x_1, x_2, \dots, x_n, y, t)$ y que además cumple otra condición. El método numérico más sencillo para obtener los puntos de esta F es el método de Euler que, en síntesis, consiste en considerar los diferenciales dy y dt como incrementos finitos Δy e Δt . Con ello la ecuación diferencial se transforma en una ecuación en diferencias finitas, que se integra como vemos a continuación.

- e) **Ecuaciones en diferencias finitas:** la ecuación (1) escrita en diferencias finitas quedaría:

$$\Delta y / \Delta t = f(x_1, x_2, \dots, x_n, y(t-\Delta t), t)$$

O bien:

$$\Delta y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, y(t-\Delta t), t) \cdot \Delta t$$

De dónde:

$$y(t) = y(t-\Delta t) + f(x_1, x_2, \dots, x_n, y(t-\Delta t), t) \cdot \Delta t$$

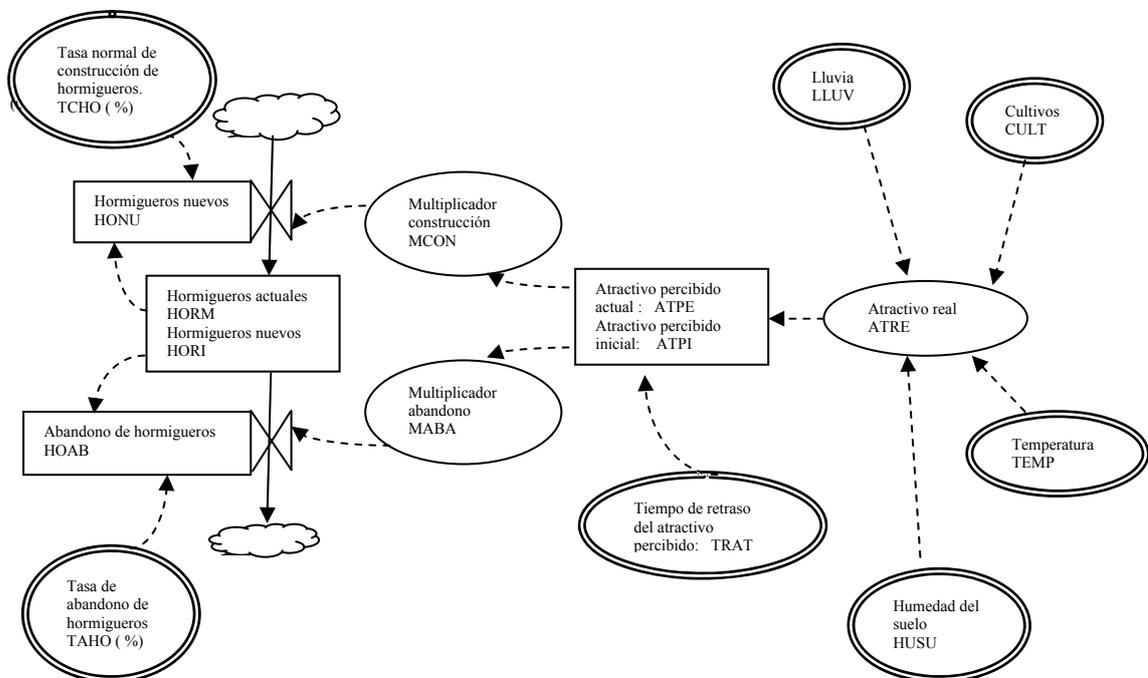
En el Apéndice 4 encontraremos más detalles y ejercicios sobre integración de ecuaciones diferenciales ordinarias..

- f) **Retrasos:** en ocasiones, algunas variables influyen con cierto retraso temporal respecto a otras. Los retrasos se suelen formular de la siguiente manera:

$$V_{retrasada}(t) = V_{retrasada}(t-\Delta t) + (V_{original}(t) - V_{retrasada}(t-\Delta t)) \cdot \Delta t / T_{retraso}$$

Es decir, se asume que la diferencia entre el valor real de la variable V en el instante t , al que hemos llamado $V_{original}(t)$, y el valor de la misma variable percibida con retraso en el instante anterior, $V_{retrasada}(t-\Delta t)$, tarda un tiempo en percibirse, $T_{retraso}$, luego en el intervalo Δt se percibirá la fracción $\Delta t / T_{retraso}$ de esa diferencia.

Ejemplo: en una zona con hormigueros, las hormigas pueden colonizar o abandonar la zona. Hay atractivos de la zona que pueden tardar en percibirse. Sobre el atractivo puede influir la lluvia, nuevas fuentes de alimento, etc. Estúdiese el diagrama siguiente:



La lista de variables y la lista de funciones serían:

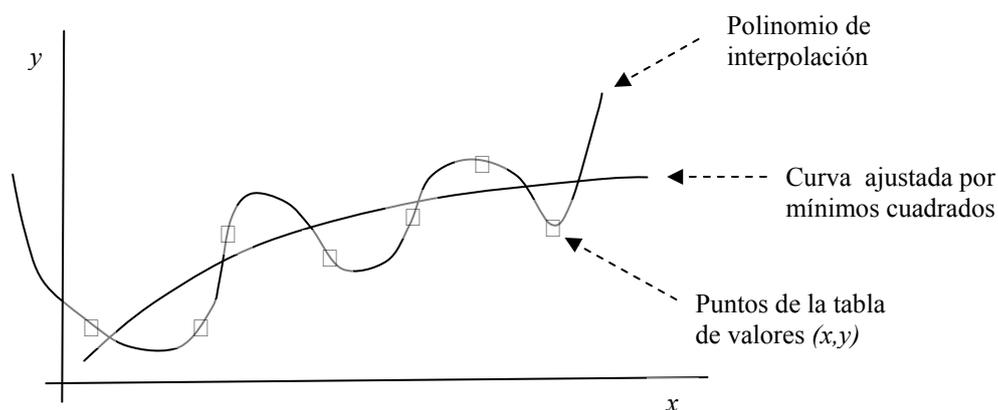
HORM cantidad de hormigueros
 HORI cantidad inicial de hormigueros
 HONU nuevos hormigueros
 LLUV cantidad de lluvia media de a zona
 CULT cantidad de cultivos (%)
 TEMP temperatura media de a zona
 HUSU humedad media del suelo en la zona
 HOAB abandono de hormigueros
 ATPE atractivo de la zona percibido por las hormigas
 ATPi atractivo de la zona percibido inicialmente por las hormigas
 TCHO tasa normal de construcción de hormigueros
 TAHO tasa normal de abandono de hormigueros
 MCON multiplicador para la construcción de hormigueros
 MABA multiplicador para el abandono de hormigueros
 TRAT tiempo de retraso en la percepción del atractivo de la zona por las hormigas
 ATRE atractivo real de la zona para las hormigas

```
HONU honu = hori * tcho/100 * mcon
HOAB hoab = hori * taho/100 * maba
HORM horm = hori + honu - hoab
ATPE atpe = atpi + 1/trat * (atre-atpi)
ATRE atre = f(lluv, cult, temp, husu) 'f obtenida por ajuste
MCON Rem mcon = f(atpi) tabla dada por expertos y calibrada
      ATPi          MCON
      100          ,          5
      90           ,          4.8
      80           ,          4.5
      Etc.
MABA Rem maba = f(atpi) tabla dada por expertos y calibrada
      ATPi          MABA
      100          ,          0
      90           ,          0.1
      80           ,          0.15
      Etc.
```

- g) **Regresión múltiple y ajuste por mínimos cuadrados:** si se trata de una función de varias variables, $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, dada por una tabla de valores, la regresión permite obtener una curva que se ajuste a esos puntos por el método de mínimos cuadrados. La curva no pasará, probablemente, por ninguno de esos puntos pero su distancia a ellos será la menor posible. Este tipo de funciones puede ser lineal o no lineal. En este último caso es necesario un algoritmo buscador de funciones que nos encuentre la mejor entre un abanico de funciones posibles, asumiendo que es una variable aleatoria normal cuya media calculamos con la función ajustada y cuya desviación típica también se puede calcular. Ese buscador podría ser REGINT (Caselles, 1998). Con la función ajustada obtendremos el valor medio y REGINT nos proporciona también los datos para calcular la desviación típica. En los modelos deterministas haremos uso solamente de la función ajustada pero en los modelos estocásticos será necesario calcular también la desviación

típica (Caselles, 1992a). En el Apéndice 4 encontraremos más detalles y ejercicios sobre ajuste por mínimos cuadrados.

- h) **Interpolación:** cuando una función de varias variables dada por una tabla de valores tiene que pasar por todos los puntos de la tabla, es decir, no hay ruido ninguno en las medidas, no vale el ajuste, es necesaria la interpolación. La interpolación más frecuente es la interpolación polinómica. En ella, la función desconocida $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ es sustituida por un polinomio de grado $n-1$. El polinomio de interpolación, generalmente, no puede usarse para extrapolar, es decir, para valores de las variables independientes que estén fuera del rango de valores usado en la tabla original dado que fuera de rango los polinomios tienen formas imprevisibles. En el Apéndice 4 encontraremos más detalles y ejercicios sobre interpolación.



- i) **En ausencia de datos históricos** no queda más remedio que utilizar métodos que aprovechen la información existente en las mentes de los expertos en el tema. El método más interesante bajo nuestro punto de vista es el de los impactos cruzados (cross-impact). Este y otros métodos son de los llamados tradicionalmente “métodos prospectivos” y se detallan en el Apéndice 3.

En el siguiente ejemplo, que concuerda con otros anteriores sobre demografía elemental, todas las ecuaciones son tautologías (relaciones evidentes).

Ejemplo:

Demografía elemental

Lista de funciones (ecuaciones, tablas o reglas lógicas)

- $XACI \ xaci = pobi * tnat / 1000$
- $DEFU \ defu = pobi * tmor / 1000$
- $POBL \ pobl = pobi + xaci - defu + smig$

2.3.5 Programación

Tenemos la lista de los elementos del sistema, su estructura (las conexiones entre los mismos) y su comportamiento (representado por las relaciones funcionales), es decir, ya tenemos la esencia del modelo. Ahora queda hacerlo funcionar y para ello necesita un soporte dinámico.

Si es un modelo mental o tipo "soft", debe estar en las mentes del equipo que lo ha elaborado además de en el papel. El proceso de elaboración ha servido para introducirlo en sus mentes y en ellas debe funcionar, así que, teóricamente, el equipo ya está en condiciones de contestar con conocimiento de causa a preguntas tipo "que pasaría si...", referentes al sistema. Como métodos adecuados para llegar a responder a estas preguntas están, como tantas veces, el Brainstorming y el Delphi.

Si es un modelo para computadora o tipo "hard", es necesario transformarlo en un programa de ordenador. Para elaborar este programa existen multitud de herramientas de las que ya hemos tenido ocasión de hablar:

- Lenguajes de programación de tipo general (C, PASCAL, BASIC, etc.).
- Lenguajes de simulación (GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA, QNAP2, STIMS, etc.)
- Cajas de herramientas (MATLAB, MATHEMATICA, etc.)
- Interpretadores de descripciones (Inter-SIM, HOCUS, STELA, VENSIM, etc.)
- Generadores de aplicaciones (DRAFT, eLSE, GASPE, SIGEM, etc.)

Por sus ventajas en cuanto a generalidad (número de tipos de modelos que pueden ser construidos), y facilidad de uso vamos a describir con algo más de detalle el generador de aplicaciones SIGEM.

El generador de aplicaciones SIGEM recaba del usuario la información correspondiente a la lista de nombres de los elementos del sistema, a las características de los mismos y a las relaciones funcionales entre los mismos. Esta información se puede introducir mediante especificaciones en forma de ficheros de texto o mediante un diálogo interactivo. El diálogo interactivo puede ser útil en modelos de pequeño tamaño o para principiantes. La información concreta incluida en este dialogo o en las especificaciones es la siguiente:

- Información sobre las variables de entrada, una a una: si son literales o numéricas, si son constantes o si varían, si llevan incertidumbre o no, y si tienen dimensiones o no (si son escalares o vectores, matrices, etc.). Las variables con incertidumbre pueden entrar en el modelo generado, bien como una pareja valor-medio/desviación-típica (en el caso de que se consideren normalmente distribuidas) o bien como una tabla de frecuencias (en el caso general), pero esto no es necesario especificarlo porque siempre son posibles las dos opciones.

- Información sobre las variables de salida y las funciones que permiten determinar su valor, una a una: si son literales o numéricas, si son dimensionadas (matrices con uno o varios subíndices) o no, si llevan incertidumbre o no, si son de estado (necesitan un valor inicial) o no, y si la función viene dada por una tabla o por un conjunto de ecuaciones y/o reglas lógicas. Las funciones que se definen de manera explícita como con incertidumbre se suponen correspondientes a distribuciones normales multivariadas, debiendo introducirse al menos dos ecuaciones, una que permita calcular el valor medio y otra la desviación típica correspondiente. Para más detalles véase el trabajo de Caselles (1992a) y algún libro sobre Regresión múltiple, lineal y no lineal.

Para usuarios no principiantes la inducción de la mencionada información se traduce en la creación de dos ficheros de texto denominados “Lnombre.txt” y “Gnombre.txt” donde “nombre” es el nombre que nosotros le queramos dar a nuestro modelo. El fichero L incluye la lista de variables con sus especificaciones y el fichero G la lista de funciones (sin necesidad de que estén ordenadas), ambos en el formato que se detalla en el ejemplo que aparece a continuación.

Ejemplo:

Contenido de los ficheros “Ldemo1.txt” y “Gdemo1.txt” correspondientes al modelo que hemos llamado “demografía elemental”:

Fichero “Ldemo1.txt”:

```
POBI Población a principio de año [ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=...;]
POBL Población a final de año [ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=s;inic=POBI;tabl=n;npun=...;]
XACI Nacimientos [ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=...;]
DEFU Defunciones [ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=...;]
TNAT Tasa de natalidad [ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=...;]
TMOR Tasa de mortalidad [ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=...;]
SMIG Saldo migratorio [ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=...;]
```

Obsérvese que:

- El nombre completo va precedido del nombre codificado (que es el que se usará en los programas). Debe tener siempre el mismo número de caracteres. Las mayúsculas no son obligatorias pero son convenientes para distinguir bien el nombre codificado del nombre completo.
- Las especificaciones de cada variable van al final entre corchetes. Cada especificación se detalla con un código de 4 caracteres en minúsculas, un signo =, y una letra (s ó n) o un número seguido de un signo “;”. Así, *ince=n* significa que la variable correspondiente no lleva incertidumbre (no es una variable aleatoria), *cval=00* significa que, si es variable de entrada, no lleva cambios de valor (es constante), *ndim=0* significa que no tiene dimensiones (es escalar), “*d1=.*” significa que su primera dimensión no existe, si existiese habría un número en lugar del “.”, *esta=n* significa que la variable no es de estado, *inic=POBI* significa a que el valor inicial de la variable POBL es POBI, *tabl=n* significa que la función no viene dada por una tabla, “*npun=.*” significa que el número de puntos de la posible tabla no existe (si existiese podríamos un número en lugar de ..).

Fichero “Gdemo1.txt”:

```
XACI xaci=pobi*tnat/1000
DEFU defu=pobi*tmor/1000
POBL pobl=pobi+xaci-defu+smig
```

Obsérvese que:

- Cada ecuación va precedida por el nombre codificado de la variable que se calcula con ella y un espacio en blanco. Si una función, en lugar de venir determinada por una ecuación o línea de código, necesitase más líneas de código, las siguientes líneas de código deben ir precedidas por espacios en blanco (no tabuladores) hasta que la sangría sea de 6 o más espacios (caso de tener 4 caracteres los nombres codificados de las variables).

- Las funciones no necesitan estar ordenadas, SIGEM las ordenará adecuadamente.
- Las funciones suelen venir dadas por ecuaciones pero muchas veces son pequeños algoritmos que incluyen ecuaciones y/o reglas lógicas y a veces bucles de repetición. Todo ello necesita ser escrito en Visual Basic 6. Las nociones mínimas necesarias de este lenguaje se encuentran en el Apéndice 2.

Otra facilidad que ofrece SIGEM al usuario es la posibilidad de interrumpir el trabajo en cualquier momento y reanudarlo desde el punto en que quedó interrumpido. Para ello crea un fichero de texto denominado *modelo*.txt* donde se guarda el dialogo previo (explícito o implícito). En lugar de * escribiremos un número entre 0 y 9.

Ejemplo:

Contenido del fichero “modelo1.txt” correspondiente al modelo *demol*.

```
"Crear, Ensamblar, formar Bloques, Analogía","c"
"Nombre del simulador","DEMO1"
"Servira para","demografia elemental"
"Lista al completo","s"
"Ver la lista por Pantalla, Fichero, o No ver","n"
"Fichero G si y fichero C no","s"
"Ver la matriz por Pantalla, Impresora, o No ver","n"
>Listado en orden de calculo","s"
"Ordenar fichero de especificaciones: ","n"
"¿Sistema dinamico?","s"
" Unidad dinamica","año"
" Algunas, Todas o Ninguna variables de entrada con incertidumbre: ","n"
"POBI Población a principio de año"
" Cambios de valor",0
" ¿Dimensional?","n"
" ¿Correcto?",""
"TNAT Tasa de natalidad"
" Cambios de valor",4
" ¿Dimensional?","n"
" ¿Correcto?",""
"TMOR Tasa de mortalidad"
" Cambios de valor",4
" ¿Dimensional?","n"
" ¿Correcto?",""
"SMIG Saldo migratorio"
" Cambios de valor",4
" ¿Dimensional?","n"
" ¿Correcto?",""
"¿Funciones grabadas?","s"
"XACI Nacimientos"
" ¿De estado?","n"
" ¿Dimensional?","n"
```

```

" ¿Tabla?","n"
" ¿Correcto?",""
"DEFU Defunciones"
" ¿De estado?","n"
" ¿Dimensional?","n"
" ¿Tabla?","n"
" ¿Correcto?",""
"POBL Población a final de año"
" ¿De estado?","s"
" Su valor inicial es","POBI"
" ¿Dimensional?","n"
" ¿Tabla?","n"
" ¿Correcto?",""

```

El menú inicial de SIGEM tiene cuatro opciones: Crear un modelo nuevo, dividir un modelo en submodelos ensamblables, ensamblar submodelos, y búsqueda analógica.

La opción *Crear*, con cada modelo, elabora tres programas Visual Basic 6: el gestor de datos, el simulador y el productor de informes. Más adelante hablaremos sobre cómo trabajan estos programas.

La opción *Dividir* permite al usuario jerarquizar las variables del modelo (construir el árbol de dependencias), y construir estructuras de subsistemas también jerárquicas, para que sean posteriormente ensamblables. En esta opción se pregunta al usuario sobre los límites entre los que desearía que estuviese el tamaño de los subsistemas, o construye unos llamados "subsistemas naturales" cuando el tamaño no importa demasiado. Una vez aceptados por el usuario los subsistemas, elabora la lista de nombres, la matriz de conexiones, además del sistema de subsistemas con su lista de nombres, su matriz de conexiones, las variables comunes de cada conexión, y otros detalles, y lo deja todo preparado para que cuando los subsistemas hayan sido validados de manera independiente, sus correspondientes programas puedan ser fácilmente ensamblados. Para más detalles véase el artículo de Caselles (1993a).

La opción *Ensamblar* solo necesita del usuario el nombre del sistema de subsistemas a ensamblar. Obviamente cuando se intente ensamblar un sistema de subsistemas todos los módulos de todos los programas de los subsistemas deben estar presentes en la unidad implícita del ordenador, así como los ficheros elaborados con la opción *Dividir*. En caso de no estar presentes estos últimos también pueden introducirse sus datos por medio de un diálogo.

Las ventajas más importantes de la descomposición de un sistema en subsistemas para el posterior acoplamiento de los mismos reconstruyendo el sistema global son casi obvias:

- un sistema de muchas variables es difícil y tedioso de construir, de verificar y de validar, y las oportunidades de error son mayores;
- cuando tiene que intervenir un equipo grande de personas en la elaboración de un modelo es necesario un criterio adecuado para repartir el trabajo y posteriormente unir los resultados del trabajo individual.

No obstante la utilidad de dividir y posteriormente ensamblar, existe otra posibilidad para lograr el mismo fin: unir en un solo fichero todos los ficheros L y en otro fichero todos los ficheros G y optar por crear un modelo nuevo. Cuando no existen problemas de memoria (lo normal en estos tiempos), esta segunda opción es preferible.

2.3.6 Análisis y gestión de datos.

Para construir un modelo nuevo, en principio, se requieren tres tipos de información:

- (a) información sobre los objetivos y la estructura del modelo (elementos que intervienen y sus conexiones);
- (b) información sobre el comportamiento de las variables (relaciones funcionales);
- (c) información sobre los experimentos, optimizaciones o pruebas a realizar con el modelo (que se derivan de los objetivos inicialmente propuestos y del tipo de modelo construido).

Las informaciones (a) y (b) ya hemos dicho de qué tipo son y cómo se obtienen y elaboran. La información de tipo (c) será estudiada cuando hablemos del diseño de experimentos.

Las cuestiones de tipo general sobre adquisición de datos, análisis y gestión de los mismos son de gran interés dado que consumen una proporción considerable del tiempo del equipo modelizador y pueden llegar a paralizar y hasta hacer fallar el proyecto (con sorpresa para el equipo). Claro que esto ocurre si el equipo se empeña en validar un determinado modelo previamente construido. La alternativa es diseñar un nuevo modelo que use los datos existentes una vez detectados estos. Y estos datos adecuados solo podrán detectarse, normalmente, cuando ya se ha construido un modelo tentativo (recuérdese lo de la vuelta atrás que se explicó al tratar la metodología general de modelización).

No vamos entrar en temas de diseño de experimentos para determinar valores de los diferentes tipos de variables en las diferentes áreas de conocimiento, ni en métodos para ordenar y clasificar datos. Esto, obviamente, escapa de los objetivos de este trabajo. Solamente queremos hacer hincapié en que en los sistemas socio-económicos, y medioambientales, la escasez de datos y la imposibilidad de realizar una toma de los mismos en el tiempo que dura un estudio, hace fracasar muchos intentos. Por consiguiente, es necesario pensar en el tipo de datos que van a ser necesarios y en las posibilidades de localizarlos o determinarlos antes de comprometerse a realizar un trabajo determinado en unas condiciones determinadas.

Respecto a la gestión de datos (valores de las variables de entrada) en los modelos que se construyen, es necesario que exista un módulo específico para esta misión, que haga fácil la introducción inicial de los datos y la modificación de los mismos, y que pueda preparar varios conjuntos de datos alternativos de forma accesible para el módulo simulador.

2.3.7 Calibrado del modelo.

En determinados modelos, una vez construidos, quedan parámetros sin determinar y para determinarlos se recurre al método de prueba y error (véase por ejemplo Meyer et al., 1979). El ajuste de los parámetros desconocidos, en algunos tipos de relaciones e incluso de modelos dinámicos completos ya construidos, se puede realizar por el método de los mínimos cuadrados (véase 2.3.4). Otras veces se recurre a opiniones de expertos, que pueden ser posteriormente convertidas en valores numéricos. Incluso relaciones entre variables, presentadas en forma de tablas de valores, pueden ser obtenidas a través de opiniones de expertos (véase Forrester, 1970) y después acopladas al modelo y rectificadas hasta que el modelo produzca resultados adecuados.

2.3.8 Verificación del modelo.

Este paso consiste en comprobar que el modelo (el programa de ordenador o modelo

mental) da los resultados conocidos cuando trabaja con los correspondientes datos conocidos. Por datos y resultados conocidos entendemos los que han servido para calibrar o elaborar el modelo. Con este test se pueden detectar errores de programación, o cuando el programa ha sido producido por un generador de aplicaciones, se pueden detectar errores en las relaciones funcionales introducidas por el usuario. Para dar una idea clara de lo que es verificar un modelo podríamos decir que es: “comprobar que el resultado de $2 + 2$ es efectivamente 4 y no otra cosa”.

2.3.9. Validación del modelo.

La idea intuitiva de validación consiste en que el modelo se construye para ser aplicable a una cierta generalidad o conjunto de sistemas, definidos por los objetivos propuestos en la primera etapa del proceso de modelización, pero se construye a partir de datos tomados de un pequeño subconjunto de tales sistemas, a veces de uno solo. Por tanto, es necesario asegurarse en cierta medida de que el modelo va a servir para cualquiera de los sistemas del conjunto correspondiente a los objetivos planteados. Caselles (1984 y 1992b) propone una aproximación difusa al concepto de similaridad entre sistemas que puede ser aplicada a la validación de modelos. Para dar una idea clara de lo que es validar un modelo podríamos decir que es: “comprobar que con el tipo de datos que tenemos vamos a obtener el tipo de resultados que deseamos de una manera fiable”. El método clásico de validación es el de “predicción del pasado” también llamado “simulación ex post”, que consiste en suministrar al modelo datos históricos conociendo también los correspondientes resultados históricos. Resultados estos que debe reproducir el modelo con una aproximación aceptable para el usuario (coeficiente de variación menor del 5%, por ejemplo). Este método asume que “en el futuro las cosas van funcionar como en el pasado”, es decir, que la estructura y comportamiento del modelo no va sufrir modificaciones. Si se conocen estas posibles modificaciones, ¿por qué no introducirlas en el modelo? Y, si no se conocen, no queda más remedio que actualizar el modelo cuando se presenten.

2.3.10 Gestión y manejo de modelos.

Esta etapa hace referencia a la posibilidad de guardar, modificar y rehusar modelos y partes de modelos. Cada metodología tiene unas capacidades específicas en este sentido. Por ejemplo, MATLAB/SIMULINK, STIMS y SIGEM, entre otros, tienen la capacidad de ensamblar modelos parciales. Un modelo parcial puede formar parte de varios modelos globales distintos. En cada metodología los modelos parciales se definen, se construyen, se guardan y se ensamblan de una forma distinta. La manera como lo hace SIGEM ha sido descrita someramente en 2.3.5. Otros paquetes requieren más nociones previas para poder aludir a este tipo de mecanismos de modo inteligible.

En los modelos construidos por SIGEM, pequeñas modificaciones correspondientes al comportamiento de las variables pueden realizarse directamente en el programa fuente del módulo simulador, y las modificaciones estructurales, es decir, las que afectan al número de variables que se consideran y a las conexiones entre las mismas, se realizan modificando la lista de elementos, la lista de ecuaciones/reglas/tablas, y regenerando el modelo a través de una nueva sesión de diálogo con SIGEM. Muchas modificaciones pequeñas pueden realizarse en el fichero donde se almacena el diálogo (*modelo*.txt*) con un procesador de textos y regenerando el modelo.

SIGEM dispone en el menú principal de la opción *búsqueda analógica*. Esta opción es capaz de explorar una biblioteca de modelos almacenados en forma compacta, es decir, con el

fichero *Lnombre.txt*, el fichero *Gnombre.txt* y el fichero *Mnombre.txt* (que es el fichero *modelo*.txt* cambiado de nombre), con unas palabras clave proporcionadas por el usuario, y generar un nuevo modelo que será operativo pero que, obviamente, no tendrá ningún sentido, no obstante, podrá servir de base para la elaboración de un nuevo proyecto.

2.3.11 Diseño de experimentos y procedimientos de optimización.

Los modelos pueden ser diseñados de tal manera que incorporen procedimientos de optimización o que realicen procesos de búsqueda o toma de muestras, o que persigan un objetivo, pero lo más común es que el modelo tenga una o varias variables que tengan que alcanzar un valor máximo, un valor mínimo o, al menos, un valor aceptable. A estas las llamaremos "variables objetivo" o "variables esenciales". Los valores de las variables de entrada que están en correspondencia con ese valor o valores óptimo o quasi-óptimo se suelen determinar realizando ensayos tipo prueba-y-error con el modelo. Hay dos clases de variables que deben ser tenidas en cuenta: las "variables de escenario" y las "variables de control".

– Llamamos variables de escenario o exógenas a las que son determinadas por factores desconocidos o imprevisibles, y respecto de las que únicamente podemos hacer hipótesis sobre sus posibles valores o conjuntos de valores. A las combinaciones de hipótesis sobre diferentes variables se les suele llamar "escenarios".

– Llamamos variables de control o de acción a aquellas cuyos valores pueden ser determinados por el usuario del modelo.

Por consiguiente, la situación más frecuente es aquella en la que el usuario desea encontrar los valores que más le convienen para las variables de control en cada uno de los escenarios más probables para las variables exógenas. Para lograrlo se suelen elaborar conjuntos de valores para las variables de entrada que combinan los diferentes escenarios con distintas opciones de control factibles a priori, y se rueda el modelo con cada uno de ellos. A la vista de los resultados en las variables objetivo se elige la opción idónea. Una buena manera de seleccionar una opción de control, que llamaremos estrategia, válida para cualquiera de los escenarios consiste en recabar de un grupo de expertos opiniones sobre las probabilidades de los diferentes escenarios construidos y, posteriormente, sumar los productos variable-objetivo por probabilidad en los diferentes escenarios para la misma estrategia, quedándonos con la estrategia que alcance el valor mayor como estrategia óptima.

En otros casos es necesario diseñar un experimento adecuado para un tipo de análisis estadístico determinado como puede ser una "prueba de hipótesis", "análisis de varianza", o similar.

Otra posibilidad es tomar una muestra aleatoria entre las combinaciones posibles de los valores posibles de las variables de entrada y obtener los valores correspondientes de la variable objetivo para, posteriormente, seleccionar la que maximice la variable objetivo.

Veámoslo de una forma más sistemática y formal:

Definición de optimización:

$$\begin{array}{l}
 Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{Max ó min} \\
 \left. \begin{array}{l}
 g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq = > 0 \\
 g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq = > 0 \\
 \dots\dots\dots \\
 g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq = > 0
 \end{array} \right\} \text{Restricciones}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{Max ó min} \\ g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq = > 0 \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq = > 0 \\ \dots\dots\dots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq = > 0 \end{array}} \right\} \text{Modelo lógico- matemático del sistema}$$

Tipos de optimización y nombres que reciben:

En general: Programación matemática.

Si f es lineal y las g son lineales: Programación lineal.

Si f es cuadrática y las g son lineales: Programación cuadrática.

Si f es no-lineal: Programación no lineal.

Si las x son enteras: Programación entera.

Si f ó las g incluyen funciones no lineales y/o discontinuas y/o estocásticas y su número de variables es grande: Optimización de sistemas complejos.

Métodos de optimización para sistemas deterministas

- Escenarios y estrategias.
- Algoritmos genéticos: se utilizan en los casos más complejos. Se trata de construir un algoritmo que imite a la selección natural.
- Muestreo: extraer una muestra aleatoria de tamaño n para que la probabilidad de obtener al menos un valor de la variable objetivo que esté dentro del $p\%$ de los mejores sea del $P\%$.
 - Sin posterior ajuste de una función: Es evidente que $P/100 = 1 - (1 - p/100)^n$. De aquí se despeja n . Para $p=5$ y $P=5$ sale aproximadamente $n \approx 60$. Y si $p=1$ y $P=1$ $n \approx 400$.
 - Con posterior ajuste de una función y búsqueda de su máximo o mínimo. Teniendo los valores de las variables de entrada y su correspondiente valor de la variable objetivo se puede ajustar una función no lineal sobre la que buscar máximos o mínimos.
-

Métodos de optimización para sistemas estocásticos

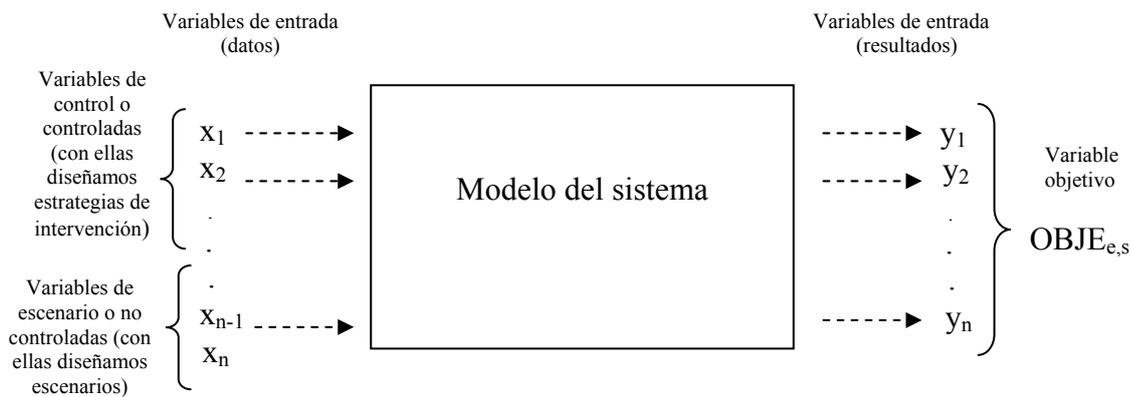
Los sistemas estocásticos incluyen variables aleatorias. Si son de entrada y normales se pueden introducir en el modelo con su media y su desviación típica. En otro caso se pueden introducir en forma de tabla de frecuencias. Si son de salida, una función calculará su valor medio y otra su desviación típica, asumiéndose normalmente distribuidas. En el caso de funciones ajustadas a una tabla de datos, el programa REGINT, además de realizar el ajuste, proporciona la información necesaria para calcular el valor medio estimado con dicha función y su correspondiente desviación típica. Las fórmulas para tales cálculos pueden verse en el Apéndice 5. En este caso son aplicables los siguientes métodos:

- Escenarios y estrategias
- Pruebas de hipótesis
- Análisis de varianza
-

En el Apéndice 5 puede verse un resumen de los métodos estadísticos que pueden ser especialmente útiles cuando tratamos con modelos estocásticos.

Formalización del método de los escenarios y las estrategias

Normalmente la situación con la que nos encontramos es la siguiente:



Y lo que tenemos que hacer es lo siguiente:

1. Definir la variable objetivo a partir de las variables de salida: la llamaremos OBJE.
2. Definir la variable objetivo intertemporal (si estamos en un sistema dinámico): la llamaremos $Y_{e,s}$ pues tiene un valor para cada escenario e y para cada estrategia s .
3. Definir los escenarios y las estrategias.
 - Escenario: conjunto de valores distribuidos a lo largo del tiempo para las variables no controlables o no controladas. Se le da un nombre asociado a una situación del entorno.
 - Estrategia: conjunto valores de las variables de control distribuidos a lo largo del tiempo. Se le da un nombre asociado a un tipo de acción.
4. Calcular $Y_{e,s}$. Se obtiene sumando o promediando los valores de la variable objetivo a lo largo del tiempo.

$$Y_{e,s} = \sum_t \text{OBJE}_{e,s}$$

5. Asignar probabilidades a los escenarios (normalmente con opiniones de expertos): P_e .
6. Calcular el valor de cada estrategia. Se obtiene sumando los productos $Y_{e,s} \cdot P_e$.

$$Z_s = \sum_e Y_{e,s} \cdot P_e$$

7. Seleccionar la estrategia óptima. Se consigue encontrando el valor mayor de Z_s

$$Z_{\text{opt}} = \max_s Z_s$$

Ejemplo:

Veamos como quedaría el método de los escenarios y estrategias con el modelo que hemos denominado “demografía elemental”.

Vamos a considerar como objetivo la población y como variables de control las tasas de natalidad y mortalidad. Ambas se podrían controlar con ayudas económicas y campañas publicitarias. Consideraremos el saldo migratorio como variable de escenario (no controlada). Simularemos 5 años.

Estrategia 1: Campaña de fomento de la natalidad.

Estrategia 2: Campaña de reducción de la mortalidad (anti tabaco y anti accidentes de tráfico).

Definición de las estrategias:

Años	Estrategia 1: Pro-natalidad		Estrategia 2: Pro-salud	
	TNAT	TMOR	TNAT	TMOR
1	10.1	9.1	10.1	9.1
2	10.2	9.1	10.1	9.0
3	10.3	9.0	10.2	8.9
4	10.5	9.0	10.2	8.7
5	10.7	8.9	10.3	8.5

Definición de los escenarios

AÑOS	Escenario 1: invasión	Escenario 2: asimilación
	SMIG	SMIG
1	40000	20000
2	45000	20000
3	50000	25000
4	60000	25000
5	80000	27000

Combinación de escenarios y estrategias: crearemos cuatro ficheros de datos.

	Invasión	Asimilación
Pro-natalidad	Datos 1	Datos 2
Pro-salud	Datos 3	Datos 4

En otros casos no tan sencillos la definición de los escenarios puede costar un poco más. La idea base de su construcción y combinación con las estrategias de control es la siguiente:

1. suponemos que tenemos una serie histórica de datos sobre cada una de las variables de escenario, llamémosles E_i a estas variables;
2. ajustamos una curva (por mínimos cuadrados) a cada una de esas series: $E_i=f_i(t)$; para ello podemos utilizar el buscador de funciones REGINT (Caselles, 1998);
3. extrapolamos la serie obteniendo para cada periodo futuro una estimación por intervalo y su valor promedio; para ello podemos utilizar el extrapolador por intervalo EXTRAPOL (veasé Caselles y Romero, 2004 y también el Apéndice 8);
4. asignamos un nombre al extremo superior, al valor promedio y al extremo inferior de los intervalos de confianza de cada variable de escenario; estos nombres pueden ser por ejemplo: optimista, tendencial y pesimista (o a la inversa, según sean favorables o desfavorables a nuestros objetivos);
5. creamos un escenario optimista utilizando los extremos optimistas de los respectivos intervalos, un escenario tendencial utilizando los valores promedios y, un escenario pesimista utilizando los extremos pesimistas;
6. diseñamos, con las variables de control, las estrategias de intervención que consideremos adecuadas y les damos un nombre (por ejemplo, estrategia agresiva, estrategia conservadora y, estrategia regresiva);
7. combinamos estos escenarios (u otros a nuestra conveniencia) con las estrategias de intervención que hayamos considerado posibles que, si son tres, y también tenemos tres escenarios, nos permitirán crear nueve ficheros de datos que llamaremos Datos1 ... Datos9.

2.3.12 Realización de los experimentos o pruebas con el modelo.

Una vez diseñados los experimentos o pruebas procede realizarlos sobre el modelo construido. En los modelos construidos por SIGEM, los conjuntos de datos para las diferentes pruebas son preparados por el módulo gestor de datos (*Dnombre.bas*) en ficheros diferentes que se llaman datos1, datos2, etc. El modulo simulador (*Snombre.bas*) pregunta al usuario los números de las pruebas (simulaciones) a realizar, que se deben corresponder con los nombres de esos ficheros y elabora los correspondientes ficheros de resultados que se llaman resul1, resul2, etc., y que son filas indias de números cuya interpretación requiere del modulo generador de informes (*Rnombre.bas*).

4. Calcular Ye,s .

La variable objetivo para cada escenario/estrategia Ye,s será la población en el año 5.

Supongamos que se obtienen los siguientes resultados para Ye,s :

	Exceso	Asimilación
Pro-natalidad	45676	40232

Pro-salud	47345	42568
-----------	-------	-------

5. Asignar probabilidades a los escenarios

(normalmente con opiniones de expertos): Pe .

Supongamos que los expertos en promedio dan al Exceso una probabilidad de 0'6 y a la Asimilación 0'4.

6. Calcular el valor de cada estrategia.

Se obtiene sumando los productos $Ye,s \cdot Pe$.

	$Z_s = \text{Exceso} \cdot 0'6 + \text{Asimilación} \cdot 0'4$
Pro-natalidad	$45676 \cdot 0'6 + 40232 \cdot 0'4 = 43498'4$
Pro-salud	$47345 \cdot 0'6 + 42568 \cdot 0'4 = 45434'2$

7. Seleccionar la estrategia óptima.

Se consigue encontrando el valor mayor de Z_s

En nuestro caso la mejor estrategia es la "Pro-salud".

2.3.13 Análisis de sensibilidad y control del caos.

En ocasiones, en modelos deterministas, a la vista de los resultados de una simulación, se observa que una determinada variable (o variables) toma una sucesión de valores alarmante: valores muy altos seguidos de otros muy bajos con apariencia de una total aleatoriedad. Este fenómeno es lo que se ha llamado caos determinista y se presenta en los sistemas dinámicos cuando uno o más parámetros toman determinados valores, valores poco realistas en general (una tasa de natalidad enorme por ejemplo).

Todo sistema dinámico, aunque sea sencillo, es capaz de producir caos. El origen del caos es la sensibilidad a las condiciones iniciales (valores iniciales de las variables de estado). Esto significa que con un cambio muy pequeño en las condiciones iniciales se pueden obtener unos resultados muy distintos (el famoso efecto mariposa).

El fenómeno del caos se ha estudiado profusamente en uno de los sistemas dinámicos más sencillos que se conocen: la curva logística de crecimiento poblacional, cuya fórmula es

$$x_{n+1} = \mu x_n (1 - x_n)$$

Fórmula que nos dice que la población del periodo siguiente es proporcional a la del anterior y a lo que le falta para llegar a su valor máximo (que en el caso presente es 1). Cuando el valor de μ es bajo, x_n tiende a un valor fijo, pero cuando el valor de μ es muy elevado presenta grandes oscilaciones y no se puede predecir su valor final.

Dada una serie temporal de una determinada variable, con apariencia aleatoria, se puede diferenciar si es realmente aleatoria o es caótica analizando la existencia de auto-correlación, es decir, analizando si existe correlación entre cada valor y varios de los valores anteriores. Si hay correlación la serie es caótica (lo que implica que hay un sistema dinámico detrás) y si no es aleatoria (puro ruido). Existen procedimientos para determinar el número máximo de variables de estado que tendría el sistema dinámico que soporta a una variable caótica (a este número se le llama dimensión de correlación, y a la base teórica de lo anterior teorema de Whitney) (véase por ejemplo el libro de Solé y Manrubia, 1996).

Para nosotros lo interesante es saber que el caos existe, que puede aparecer cuando determinados parámetros del modelo toman valores poco habituales, que puede ser necesario identificar esos valores (imaginemos una empresa que un año se enriquezca y al siguiente se arruine) y, que dada una serie lo suficientemente larga de valores de una variable (más de mil valores), existen métodos para saber si es aleatoria (puro ruido) o caótica (forma parte de un sistema dinámico) y, en este último caso, para saber cuántas variables de estado tendría ese sistema dinámico.

Se ha venido llamando “análisis de sensibilidad” al estudio de la repercusión que pequeños cambios en los valores de los parámetros del modelo tienen sobre determinadas variables del mismo, aparezca caos o no. El control del caos es la extensión del análisis de sensibilidad hasta detectar caos en determinadas variables.

2.3.14 Interpretación de los resultados.

En la mayoría de los casos prácticos el simulador produce como resultados los valores de cada una de las variables de salida a lo largo del tiempo. Si el modelo tiene varios centenares de variables, visualizar todo ello puede ser además de largo y enrevesado, innecesario. Normalmente solo interesan los valores de algunas variables, su evolución, y su relación con algunas otras variables. En algunos casos unos gráficos pueden ayudar a percatarse mejor del significado de unos resultados. En los modelos con incertidumbre cada resultado numérico suele venir dado por un intervalo de confianza entre cuyos extremos se debe encontrar el valor real con una probabilidad del 95%, del 99% (supuesta la distribución normal), u otra. También puede venir dado por un valor medio y una desviación típica, o por una distribución de frecuencias de valores.

En los modelos elaborados por SIGEM, el módulo preparador de informes (*Rnombre.bas*) permite al usuario definir que variables desea visualizar, si lo desea en forma de tabla o de gráfico, que periodo de tiempo y con qué intervalo entre valores. De este modo el usuario del modelo puede seleccionar las variables esenciales, juntarlas en una tabla o un gráfico, relacionarlas con algunas otras variables, y así prepararse los resultados de forma que a la vista de los mismos pueda determinar qué conjunto de valores de las variables de entrada es el más adecuado para sus fines.

2.3.15 Elaboración de documentos explicativos del estudio realizado.

Es frecuente el caso en que el usuario del modelo es un consultor o un miembro del equipo asesor de la dirección de una empresa u organismo público. Entonces va a tener que elaborar un documento explicando los planteamientos realizados y los resultados obtenidos, y posiblemente también el modo de usar el modelo para repetir las pruebas o realizar otras.

En los modelos elaborados con SIGEM los programas no necesitan ser documentados porque las explicaciones necesarias aparecen tanto en el programa fuente como en la pantalla al usarlo. El programa elaborado se comporta como un experto que dialoga con el usuario aproximándose a como lo haría en realidad el experto. Las tablas y gráficos elaborados por el módulo generador de informes son de texto, fáciles de definir y rápidos de obtener, y además ofrece la posibilidad de elaborar los resultados de tal manera que puedan servir como entrada a otros paquetes comerciales más especializados (hoja de cálculo EXCEL, por ejemplo) con el fin de poder presentar tablas y gráficos con mayor calidad visual.

2.4 APLICACIONES

El objetivo de esta sección es poner en acción la metodología general para construir modelos. Obviamente no vamos poder ver un ejemplo de cada tipo de modelo y como se construiría con cada uno de los enfoques particulares de la metodología general. Veremos solamente algunos modelos con algunos enfoques.

Hemos visto en los ejemplos previos como se enfocaría el caso más sencillo de “sistema complejo” que hemos podido imaginar, el que hemos denominado “demografía elemental”. Ahora veremos algunos casos más en orden de complejidad creciente: 1. Demografía por cohortes. 2. Lista de espera en un hospital. 3. Un bar que solo sirve bebidas. Los enfocaremos pensando que disponemos del generador de programas SIGEM.

2.4.1 Caso 1: demografía por cohortes

Se trata en este caso de introducir el manejo de variables dimensionadas (vectores y matrices). Para ello consideraremos a la población clasificada por grupos de edad (cohortes). Así la primera cohorte podrían ser los niños de 0 a 10 años, la segunda cohorte la gente de 11 a 20 años, etc. De esta manera, no solo podemos tratar de controlar la natalidad y la mortalidad general sino que podemos tratar de incidir sobre la mortalidad de los jóvenes (accidentes de tráfico, alcohol, etc.), gente de mediana edad (campañas anti-tabaco, etc.).

2.4.1.1 Planteamiento de objetivos y restricciones.

Objetivos.

1. Determinar la evolución del número de personas de cada grupo de edad en unas condiciones determinadas de tasas de natalidad y mortalidad y de llegada y salida de familias migrantes, que también pueden cambiar a lo largo del tiempo.
2. Se desea conocer la repercusión sobre la estructura de la población a largo plazo de determinadas campañas publicitarias y otras acciones de fomento de la natalidad y de control del tráfico, tabaco y alcohol.

Restricciones y asunciones.

1. Interesa la evolución año a año durante 10 años al menos.
2. Se considera un país determinado en un momento determinado.
3. Se considera un país con población estabilizada (ni creciendo ni en declive).
4. No interesa la distinción de sexos.
5. Los movimientos migratorios se consideran no controlables.

Tipos de datos.

1. Se conoce la población histórica por grupos de edad de 10 en 10 años.
2. Se conoce el saldo migratorio por número de familias, así como la composición media de la familia migrante.
3. Se conocen las tasas históricas de natalidad y de mortalidad por cohortes de 10 años.

Tipos de resultados.

1. Modelo de Dinámica de Sistemas hipotético, a validar con un error medio máximo del 10% con los datos históricos disponibles.
2. Simulaciones de la evolución del número de personas de cada cohorte de edad a lo largo del tiempo durante 20 años. También de los nacidos y de los que mueren año a año durante el periodo de simulación.

2.4.1.2 Selección de las variables relevantes.

Llamaremos al modelo: DEMO2. El contenido del fichero DEMO2.txt es el siguiente:

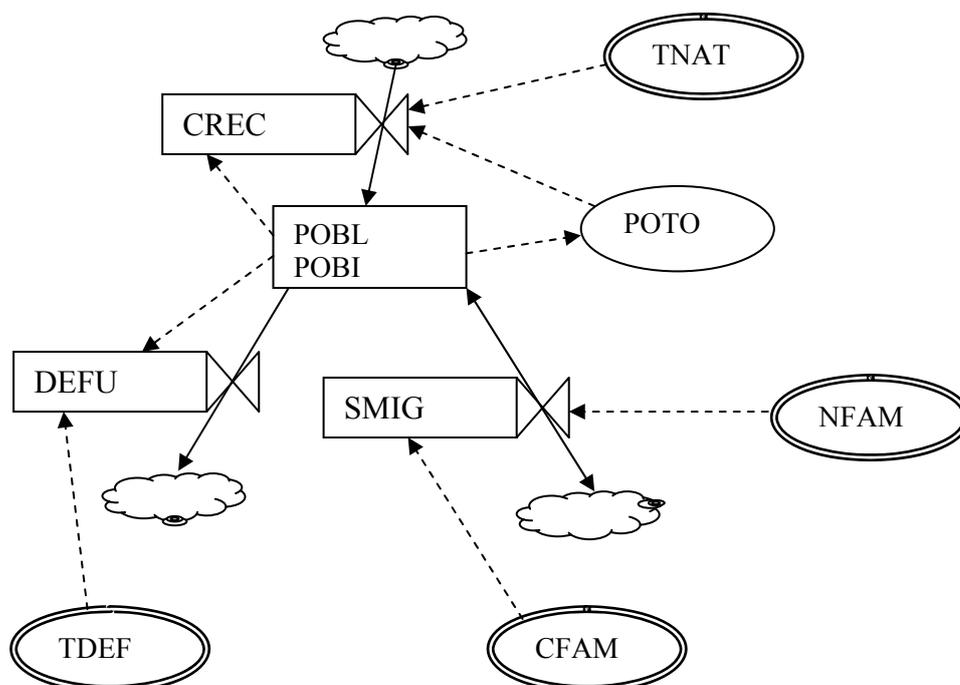
```

POBI Población a principio de año
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=7;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
POBL Población a final de año
[ince=n;cval=..;ndim=1;d1=7;d2=.;esta=s;inic=POBI;tabl=n;npun=..;]
CREC Nacimientos y crecimiento
[ince=n;cval=..;ndim=1;d1=7;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
DEFU Defunciones
[ince=n;cval=..;ndim=1;d1=7;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
TNAT Tasa de natalidad
[ince=n;cval=03;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=sn;inic=....;tabl=sn;npun=..;]
TMOR Tasa de mortalidad
[ince=n;cval=03;ndim=1;d1=7;d2=.;esta=sn;inic=....;tabl=sn;npun=..;]
SMIG Saldo migratorio
[ince=n;cval=..;ndim=1;d1=7;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
POTO Población total a principio de año
[ince=n;cval=..;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
POBF Población total a final de año
[ince=n;cval=..;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
NFAM Numero de familias migrantes
[ince=n;cval=03;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=sn;inic=....;tabl=sn;npun=..;]
CFAM Composición de la familia migrante
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=7;d2=.;esta=sn;inic=....;tabl=sn;npun=..;]

```

2.4.1.3 Identificación de las relaciones de dependencia.

El siguiente diagrama de Forrester sería el adecuado:



2.4.1.4 Representación funcional de las relaciones.

A continuación se presenta el contenido del fichero GDEMO2.txt. Para su interpretación téngase en cuenta que:

1. Está escrito en Visual Basic 6.
2. Cada función va precedida de una etiqueta (en mayúsculas) que especifica la variable que se calcula con dicha función.
3. Al contador de cohortes se le llama "i1", y especifica el número de la cohorte que estamos considerando. Obviamente, en el cálculo de las variables dimensionadas, no está escrita la sentencia "For" que inicia la cuenta ni la sentencia "Next" que permite pasar al siguiente valor de "i1". Ambas sentencias las escribirá SIGEM automáticamente. Sí están escritas en POTO y en POBF porque ellas no son variables dimensionadas.

```
CREC if i1=1 then
      crec(1)=poto*tnat
    else
      crec(i1)=pobi(i1-1)/10-pobi(i)/10
    endif
DEFU defu(i1)=pobi(i1)*tmor(i1)
SMIG smig(i1)=nfam*cfam(i1)/100
POTO poto=0:for i1=1 to 7
      poto=poto+pobi(i1):next
POBL pobl(i1)=pobi(i1)+crec(i1)-defu(i1)+smig(i1)
POBF pobf=0:for i1=1 to 7
      pobf=pobf+pobl(i1):next
```

2.4.1.5 Programación para la computadora.

El contenido del fichero Modelo1.txt, donde se almacenan las preguntas y las respuestas al dialogo inicial con SIGEM es el siguiente:

```
"Crear, Ensamblar, formar Bloques, Analogia", "c"
"Nombre del simulador", "demo2"
"Servirá para", "demografia por cohortes"
"Lista al completo", "s"
"Ver la lista por Pantalla, Fichero, o No ver", "n"
"Fichero G si y fichero C no", "s"
"Ver la matriz por Pantalla, Fichero, o No ver", "n"
"Listado en orden de calculo", "s"
"Ordenar fichero de especificaciones: ", "n"
"¿Sistema dinámico?", "s"
"  Unidad dinámica", "año"
"  Algunas, Todas o Ninguna variables de entrada con incertidumbre: ", "n"
```

Después nos pregunta si deseamos utilizar los códigos entre corchetes sin comprobar nada. Contestamos que sí. Vamos repasando las ventanas emergentes comprobando que las variables y funciones que aparecen son las que deberían aparecer. Si se detecta algún error, procede corregirlo en los ficheros L y G, editar el fichero modelo1.txt dejándolo como acabamos de ver, y empezar de nuevo con SIGEM. Como resultado obtendremos un módulo gestor de datos *Ddemo2.bas*, un módulo simulador *Sdemo2.bas* y un módulo gestor de resultados *Rdemo2.bas*.

2.4.1.6 Diseño de experimentos.

Procederíamos de modo análogo al del caso “demografía elemental” (véase 2.3.11 y 2.3.12) con un modo distinto de introducir los datos que es consecuencia de que la tasa de mortalidad y el saldo migratorio son ahora vectores cuyas componentes varían con el tiempo. El procedimiento operativo que seguiríamos es el siguiente:

Entramos en la hoja EXCEL. Presionamos ALT-F11 y aparece el VisualBasic-6. En el menú *Archivo* seleccionamos *importar*. Así cargamos los módulos *Ddemo2.bas*, *Sdemo2.bas* y *Rdemo2.bas*. Con F5 ejecutamos *Ddemo2.bas*. En el menú principal seleccionamos la opción 5 (grabar datos), y después *numero de la simulación para grabar datos = 0*. Con ello obtendremos un fichero denominado *datos0* en el que podremos introducir nuestros datos con un editor de texto (*notebook* de Windows por ejemplo). Esta opción es más eficiente que seguir el diálogo que nos ofrece *Ddemo2.bas*. Guardamos estos datos como *datos1*. Ahora podemos ir cambiando el valor de las variables *tnat*, *tdef* y *nfam* de acuerdo con los escenarios y estrategias que hayamos diseñado y guardando los datos como *datos2*, *datos3*, *datos4*, *datos5*.

Cuando los ficheros de datos están preparados ejecutamos el módulo *Sdemo2.bas* donde diremos que queremos efectuar las simulaciones de la 1 a la 9 (suponiendo 3 estrategias y 3 escenarios). Este módulo simulador produce unos ficheros denominados *resul1*, *resul2*, *resul3*, ..., *resul9*, y *r1ic*, *r2ic*, *r3ic*, ..., *r9ic*. Estos ficheros contienen información que solo el módulo *Rdemo2.bas* puede interpretar.

Ahora ejecutamos el módulo *Rdemo2.bas*. En su menú principal seleccionamos la opción 2 (definir salidas) pues lo primero que tenemos que hacer es decirle cómo queremos que nos presente los resultados (variables a visualizar, cuadros o tablas, gráficos, número de años, etc.). Con ello creamos un fichero con las especificaciones de cada informe (tabla o gráfico) al que podemos dar el nombre que queramos (*salidas*, por ejemplo). Con las salidas definidas elegimos la opción1 (ejecutar salidas) del menú principal. Nos preguntará el número del primer fichero EXCEL. Le diremos que 1 (por ejemplo). Con ello nos creará unos ficheros llamados *excell1*, *excell2*, *excell3*, etc. Estos ficheros son ficheros de texto que pueden ser visualizados con cualquier editor de texto. También pueden ser importados por la hoja EXCEL en la que estamos trabajando y producir a partir de ellos gráficos de calidad.

2.4.2 Caso 2: lista de espera en un hospital

Con este caso aprenderemos a tratar con sistemas estocásticos donde la incertidumbre se encuentra en las variables de entrada. Si una variable de entrada es aleatoria y su distribución es Normal podemos utilizar como datos su media y su desviación típica. Si su distribución no es Normal o no está clasificada, podemos utilizar como datos su tabla de frecuencias relativas. Este último caso es el que se considera en el problema siguiente.

2.4.2.1 Planteamiento de objetivos y restricciones.

Objetivos.

1. Determinar la evolución del número de pacientes en lista de espera, del número de camas ocupadas, del número de camas libres y de la nueva ocupación de camas, a lo largo del tiempo en unas condiciones determinadas de número total de camas y de llegada y salida de pacientes, que también pueden cambiar a lo largo del tiempo.

Restricciones.

1. Interesa la evolución día a día durante 30 días al menos.

2. Se considera un departamento o servicio de nueva creación dentro de un hospital.
3. Se desea encontrar el número de camas óptimo para que la lista de espera sea mínima y, a la vez, el número de camas desocupadas sea también mínimo, una vez alcanzado el equilibrio.
4. A pesar de que ese servicio hospitalario es de nueva creación, existen datos estadísticos de llegada y salida de pacientes del tipo que los que serían atendidos en el mismo pero, no existen datos adecuados de listas de espera ni de camas ocupadas.

Tipos de datos.

1. El número total de camas que podrían instalarse, entre un mínimo de 5 y un máximo de 25.
2. Tablas de frecuencias absolutas especificando el número de pacientes que entrarían y que saldrían en un día determinado.

Llegan	Frecuencia (%)		Salen	Frecuencia (%)
1	25		0	10
2	35		1	15
3	30		2	25
4	10		3	30
			4	10

Tipos de resultados.

1. Modelo de Dinámica de Sistemas hipotético, a validar en la medida de lo posible con los datos disponibles (No será posible hacerlo por el método de predicción del pasado, dado que no existen datos de camas ocupadas ni de listas de espera. Se validará por opiniones de expertos, es decir, "si se creen el modelo deberán creerse sus resultados").
2. Simulaciones de la evolución del número de camas libres y de camas ocupadas a lo largo del tiempo durante 30 días. También de los pacientes en lista de espera y de los que se reciben una cama. Todo ello para distintos valores del número total de camas.
3. Determinación del número óptimo de camas deducido como consecuencia de las simulaciones efectuadas.

2.4.2.2 Selección de las variables relevantes.

Llamaremos al modelo: HOSP. El contenido del fichero LHOSP.txt es el siguiente:

```

LLPA Llegada de pacientes
[ince=s;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
LIES Numero de pacientes en lista de espera
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=s;inic=LIEI;tabl=n;npun=..;]
LIEI Numero de pacientes inicial en lista de espera
[ince=s;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
OCCA Ocupacion de camas
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
CAOC Camas ocupadas
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=s;inic=CAOI;tabl=n;npun=..;]
CAOI Camas ocupadas inicialmente
[ince=s;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
SAPA Salida de pacientes
[ince=s;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
TOCA Total camas disponibles
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

```

```

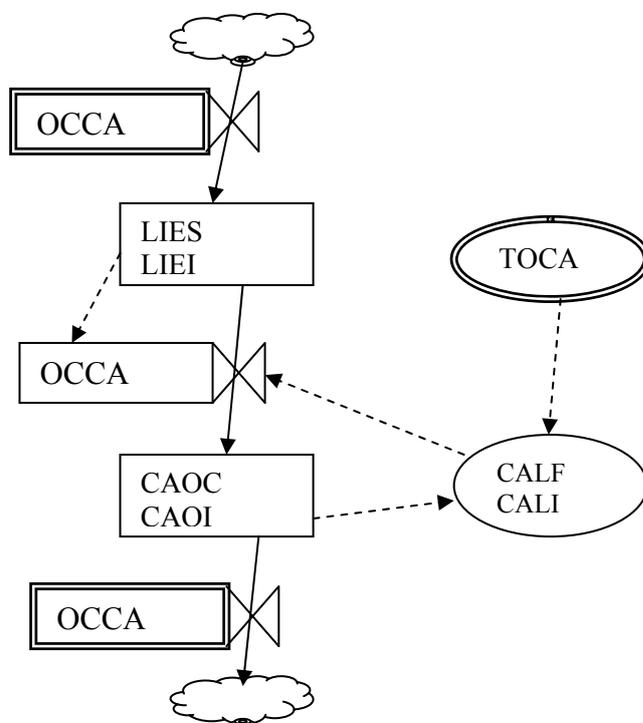
CALF Camas libres al final del día
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=s;inic=CALI;tabl=n;npun=.;]
CALI Camas libres al principio del día
[ince=s;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=.;]

```

Obsérvese que hemos declarado como variables con incertidumbre a LLPA y SAPA que son variables de entrada y a la hora de introducir sus datos introduciremos sus respectivas tablas de frecuencias con el siguiente formato, que para la variable LLPA será: “1,25/2,35/3,30/4,10”. Obsérvese también que hemos declarado como variables con incertidumbre a LIEI, CAOI y CALI, que son los valores iniciales de las variables de estado. Esta clase de variables, en los modelos con incertidumbre, deben ser declaradas como variables con incertidumbre aunque no la tengan (por requerimientos del SIGEM).

2.4.2.3 Identificación de las relaciones de dependencia.

Este sería el diagrama de Forrester correspondiente a este caso:



2.4.2.4 Representación funcional de las relaciones.

El contenido del fichero GHOSP.txt es el siguiente:

```

LIES lies=liei+llpa-occa
    if lies<0 then lies=0
OCCA if cali <= liei then occa=cali else occa=liei
CAOC caoc=caoi+occa-sapa
    if caoc<0 then caoc=0
CALF calf=toca-caoc

```

Obsérvese que estas funciones incluyen tautologías (ecuaciones evidentes) y relaciones lógicas de puro sentido común.

2.4.2.5 Programación para la computadora.

El contenido del fichero Modelo1.txt, donde se almacenan las preguntas y las respuestas al dialogo inicial con SIGEM es el siguiente:

```
"Crear, Ensamblar, formar Bloques, Analogia", "c"
"Nombre del simulador", "HOSPITAL"
"Servirá para", "simular camas hospital"
"Lista al completo", "s"
"Ver la lista por Pantalla, Fichero, o No ver", "n"
"Fichero G si y fichero C no", "s"
"Ver la matriz por Pantalla, Fichero, o No ver", "n"
"Listado en orden de calculo", "s"
"Ordenar fichero de especificaciones: ", "n"
"¿Sistema dinámico?", "s"
"  Unidad dinámica", "dia"
"  Algunas, Todas o Ninguna variables de entrada con incertidumbre: ", "a"
```

Después nos pregunta si deseamos utilizar los códigos entre corchetes sin comprobar nada. Contestamos que sí. Vamos repasando las ventanas emergentes comprobando que las variables y funciones que aparecen son las que deberían aparecer. Si se detecta algún error, procede corregirlo en el los ficheros L y G, editar el fichero modelo1.txt dejándolo como acabamos de ver, y empezar de nuevo con SIGEM.

2.4.2.6 Diseño de experimentos.

Este es un modelo con incertidumbre en dos variables (flujos) de entrada, la llegada y la salida de pacientes. La simulación con este tipo de modelos se basa en repetir la corrida del modelo un buen número de veces con extracciones aleatorias de valores de las variables con incertidumbre, guardar los resultados y después calcular las medias y las desviaciones típicas de cada resultado. A continuación, procede hacer la prueba de normalidad en las distribuciones de cada resultado (con *Chi-cuadrado*). Si resultan ser normales podremos realizar su estimación por intervalo utilizando la *t de Student*. Si no son normales nos conformaremos con la desviación típica como medida del grado de dispersión de cada resultado.

Respecto al tipo de experimentos que podemos realizar con este modelo, observemos que lo que interesa es el número óptimo de camas y al final el número de camas que van a estar libres y ocupadas cuando el sistema se estabilice. Simularemos 30 días, efectuaremos 100 repeticiones (un número alto pero asumible; a más repeticiones más estrechos los intervalos de confianza). Consideraremos el hospital inicialmente vacío y simularemos que tenemos 5 camas, después 10, etc., hasta 25. Con los datos disponibles seleccionaríamos la opción con la mayor relación entre camas ocupadas y camas libres, aunque el ideal sería contar con datos económicos para poder seleccionar la opción que maximice el beneficio. Como ayuda a la selección dibujaremos juntas las gráficas de evolución temporal de *cali* y de *caoc*. También es interesante la evolución de la lista de espera si es que la hay.

2.4.2.7 Ejecución de los experimentos

Entramos en la hoja EXCEL. Presionamos ALT-F11 y aparece el VisualBasic-6. En el menú *Archivo* seleccionamos *importar*. Así cargamos los módulos *Dhospital.bas*, *Shospital.bas* y *Rhospital.bas*. Con F5 ejecutamos *Dhospital.bas*. En el menú principal seleccionamos la opción 5 (grabar datos), y después *numero de la simulación para grabar datos = 0*. Con ello obtendremos un fichero denominado *datos0* en el que podremos introducir nuestros datos con un editor de texto (*notebook* de Windows por ejemplo). Esta opción es más eficiente que seguir el diálogo que nos ofrece *Dhospital.bas*. Guardamos estos datos como *datos1*. Ahora podemos ir cambiando el valor de la variable *toca* desde 5 hasta 25 y guardando los datos como *datos2*, *datos3*, *datos4*, *datos5*.

Cuando los ficheros de datos están preparados ejecutamos el módulo *Shospital.bas* donde diremos que queremos efectuar las simulaciones de la 1 a la 5. Este módulo simulador produce unos ficheros denominados *resul1*, *resul2*, *resul3*, *resul4*, *resul5*, y *r1ic*, *r2ic*, *r3ic*, *r4ic*, *r5ic*. Estos ficheros contienen información que solo el módulo *Rhospital.bas* puede interpretar.

Ahora ejecutamos el módulo *Rhospital.bas*. En su menú principal seleccionamos la opción 2 (definir salidas) pues lo primero que tenemos que hacer es decirle cómo queremos que nos presente los resultados (variables a visualizar, cuadros o tablas, gráficos, número de años, etc.). Con ello creamos un fichero con las especificaciones de cada informe (tabla o gráfico) al que podemos dar el nombre que queramos (*salidas*, por ejemplo). Con las salidas definidas elegimos la opción 1 (ejecutar salidas) del menú principal. Nos preguntará el número del primer fichero EXCEL. Le diremos que 1 (por ejemplo). Con ello nos creará unos ficheros llamados *excel1*, *excel2*, *excel3*, etc. Estos ficheros son ficheros de texto que pueden ser visualizados con cualquier editor de texto. También pueden ser importados por la hoja EXCEL en la que estamos trabajando y producir a partir de ellos gráficos de calidad.

2.4.3 Control de la estabilidad de las parejas

El objetivo de aprendizaje que tenemos en este caso es el manejo de la incertidumbre en las funciones. Suponemos que una variable determinada depende de otras y no sabemos cómo depende. No obstante disponemos de datos históricos de las variables implicadas. Con el buscador/ajustador de funciones REGINT encontramos la función más adecuada (véase 2.3.4 -g). Los ficheros de entrada de datos y de salida de resultados de REGINT correspondientes a este caso pueden verse en el Apéndice 7.

2.4.3.1 Planteamiento de objetivos y restricciones.

Objetivos.

1. Fomentar la estabilidad de las parejas.

Restricciones.

1. Nos restringiremos a España y a la próxima década.
2. Entendemos por pareja cualquier tipo de convivencia estable (compartir domicilio) entre personas no consanguíneas.
3. Como unidad de tiempo tomaremos el año.

Asunciones.

1. Asumimos que la estructura social de los últimos 15 años se perpetuará durante la próxima década.

Tipos de datos.

1. Demográficos y sociológicos del Instituto Nacional de Estadística de España de los últimos 15 ó 16 años (los únicos existentes).

Tipos de resultados.

1. Buscamos la estrategia óptima con las variables que resulten controlables por el gobierno central.

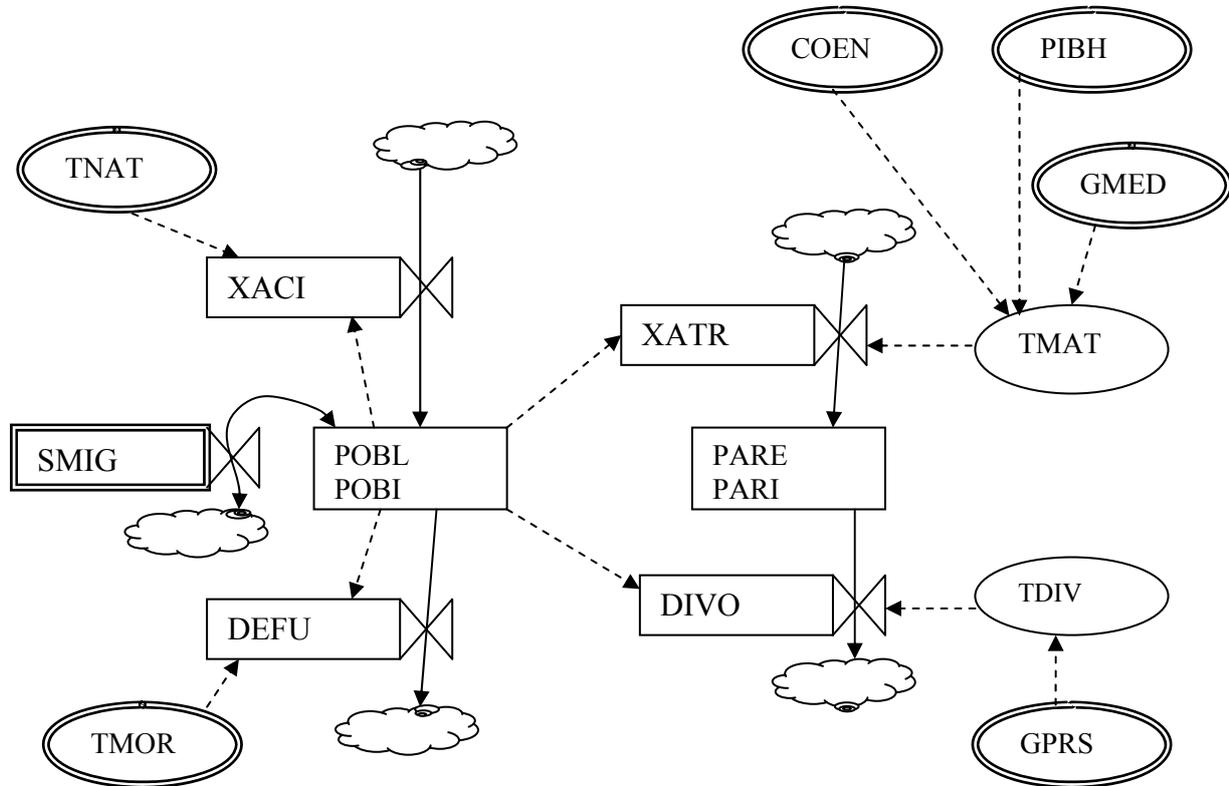
2.4.3.2 Selección de las variables relevantes.

Si llamamos PAREJAS al futuro simulador del problema, el contenido del fichero Lparejas.txt que los métodos conocidos seleccionaron es el siguiente. Obsérvese que la tasa de divorcios TDIV y la tasa de matrimonios TMAT se declaran como variables con incertidumbre (van a ser calculadas con funciones determinadas por REGINT a partir de tablas de datos históricos). También han sido declaradas como variables con incertidumbre POBI y PARI que son los valores iniciales de las variables de estado (esto se hace así por requerimientos de SIGEM). Se tomaron en consideración más variables de las que aparecen a continuación pero fueron eliminadas por el propio REGINT al no incluirlas en las ecuaciones ajustadas a los datos históricos. No obstante dichas variables sí que aparecen en el fichero de datos de REGINT que puede verse en el Apéndice 7.

```
TDIV Tasa de divorcios (div+sep+nul)*1000/población
      [ince=s;cval=14;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
POBL Poblacion a final de año
      [ince=n;cval=..;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=s;inic=POBI;tabl=n;npun=..;]
POBI Poblacion a principio de año
      [ince=s;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
TMAT Tasa de matrimonios por cada 1000 habitantes
      [ince=s;cval=14;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
COEN Consumo de energia (Tm petroleo/1000 Hab)
      [ince=n;cval=14;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
PIBH Producto Interior Bruto por Habitabte (€/Año)
      [ince=n;cval=14;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
GMED Gasto medio por habitante (€/Año)
      [ince=n;cval=14;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
GPRS Gasto protección social (€/Año)
      [ince=n;cval=14;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
XACI Nacimientos
      [ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
DEFU Defunciones
      [ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
TNAT Tasa de Natalidad
      [ince=n;cval=14;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
TMOR Tasa de Mortalidad
      [ince=n;cval=14;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
SMIG Saldo Migratorio
      [ince=n;cval=14;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
XATR Matrimonios
      [ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
DIVO Divorcios
      [ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
PARE Parejas a fin de año
      [ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=s;inic=PARI;tabl=n;npun=..;]
PARI Parejas a principio de año
      [ince=s;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
```

2.4.3.3 Identificación de las relaciones de dependencia.

Diagrama de Forrester correspondiente a este caso:



2.4.3.4 Representación funcional de las relaciones.

La lista de ecuaciones y/o reglas que describen el comportamiento de las variables del modelo (contenido del fichero Gparejas.txt) y que se deducen de la interpretación del planteamiento de objetivos y restricciones y del ajuste de TMAT y TDIV con REGINT son las siguientes. Obsérvese que:

- escribimos $h = a + b_1 * T_1 + b_2 * T_2 + \dots + b_n * T_n$ siendo a la constante y las $b_1, b_2, etc.$, los coeficientes de las funciones transformadas de las variables independientes. Así, $coen/10 * pibh/1000$ es una función transformada donde $coen$ y $pibh$ son variables independientes en el cálculo de TMAT.
- Usamos dos variables auxiliares: A y B para almacenar el valor de la diferencia entre cada transformada y su valor medio (obtenido al igual que la constante a y las $b_1, b_2, etc.$, del fichero de resultados de REGINT).
- Escribimos $s = S * \text{sqr}(1 + 1/n + \tau' C \tau)$, donde S es la desviación típica de regresión, $\text{sqr}(\dots)$ significa raíz cuadrada de (...), n es el número de puntos de la tabla de datos que utiliza REGINT, τ es el vector cuyas componentes son A y B (en el caso de dos transformadas), τ' es el vector transpuesto de τ , y C es la matriz de los numeradores de las varianzas y covarianzas (también calculada por REGINT) (Véase 3.3 del Apéndice 5).
- En la tabla de datos que utiliza REGINT hemos dividido $pibh$ por 1000 (y $coen$ por 10) porque se trabaja mejor con números de un mismo o parecido orden de magnitud (no es bueno mezclar números muy grandes con números muy pequeños). No obstante,

cuando se utilicen *pibh* y *coen* como datos en el simulador definitivo entrarán con su valor verdadero.

```

TMAT h=15.6063986+0.0056761*coen/10*pibh/1000-2.9454791*sqr(gmed/1000)
      A=coen/10*pibh/1000-403.368005: B=sqr(gmed/1000)-4.333173
      s=0.080517*sqr(1+1/15+0.000094296810*A^2+20.206693726304*B^2-
        2*0.043011114874*A*B)
TDIV h=11.591269-12.030491*exp(-0.1*gprs)
      A=exp(-0.1*gprs)-0.745145
      s=0.080180*sqr(1+1/16+23.606967*A^2)
XACI xaci=pobi*tnat/1000
DEFU defu=pobi*tmor/1000
POBL pobl=pobi+xaci-defu+smig
XATR xatr=pobi*tmat/1000
DIVO divo=pobi*tdiv/1000
PARE pare=pari+xatr-divo

```

2.4.3.5 Programación para la computadora.

El contenido del fichero Modelo1.txt, donde se almacenan las preguntas y las respuestas al dialogo inicial con SIGEM es el siguiente:

```

"Crear, Ensamblar, formar Bloques, Analogia","c"
"Nombre del simulador","PAREJAS"
"Servirá para","fomentar la estabilidad de las parejas"
"Lista al completo","s"
"Ver la lista por Pantalla, Fichero, o No ver","n"
"Fichero G si y fichero C no","s"
"Ver la matriz por Pantalla, Fichero, o No ver","n"
"Listado en orden de calculo","s"
"Ordenar fichero de especificaciones: ","n"
"¿Sistema dinámico?","s"
" Unidad dinámica","año"
" Algunas, Todas o Ninguna variables de entrada con incertidumbre: ","a"

```

Después nos pregunta si deseamos utilizar los códigos entre corchetes sin comprobar nada. Contestamos que sí. Vamos repasando las ventanas emergentes comprobando que las variables y funciones que aparecen son las que deberían aparecer. Si se detecta algún error, procede corregirlo en el los ficheros L y G, editar el fichero modelo1.txt dejándolo como acabamos de ver, y empezar de nuevo con SIGEM.

2.4.3.6 Diseño de experimentos.

Consideremos que el gobierno central puede tratar de intervenir o controlar el Producto Interior Bruto por habitante (PIBH) fomentando la actividad empresarial con leyes adecuadas y, que controla totalmente los gastos de protección social (GPRS). En cambio no controla el consumo de energía (COEN) ni el gasto medio de las familias (GMED) así como las variables demográficas TNAT, TMOR y SMIG. Tenemos pues como variables de estrategia a PIBH y a GPRS, y como variables de escenario a COEN, GMED, TNAT, TMOR y SMIG. Ahora podemos diseñar estrategias y escenarios y plantear combinaciones de escenarios y estrategias de modo similar a como se ha hecho en 2.3.11. Trabajaremos con los valores medios, no obstante obtendremos la evolución de las variables de salida con su intervalo de confianza o, al menos, con su desviación típica. La construcción de escenarios con las variables no controladas la realizaremos ajustando con REGINT una función del tiempo (años) a la serie histórica de cada variable de escenario y posteriormente extrapolando esta función con

intervalos de confianza con EXTRAPOL (Véase Apéndice 8). Si diseñamos tres escenarios (lo más sencillo) que podemos llamar “escenario optimista”, “escenario tendencial” y “escenario pesimista”, podemos asignar al escenario optimista los extremos superiores de los intervalos de confianza extrapolados, al tendencial los valores medios y al pesimista los extremos inferiores. En el Apéndice 8 puede verse cómo se ha realizado el ajuste y la extrapolación para el caso de la tasa de natalidad TNAT.

2.4.4 Un bar que solo sirve bebidas

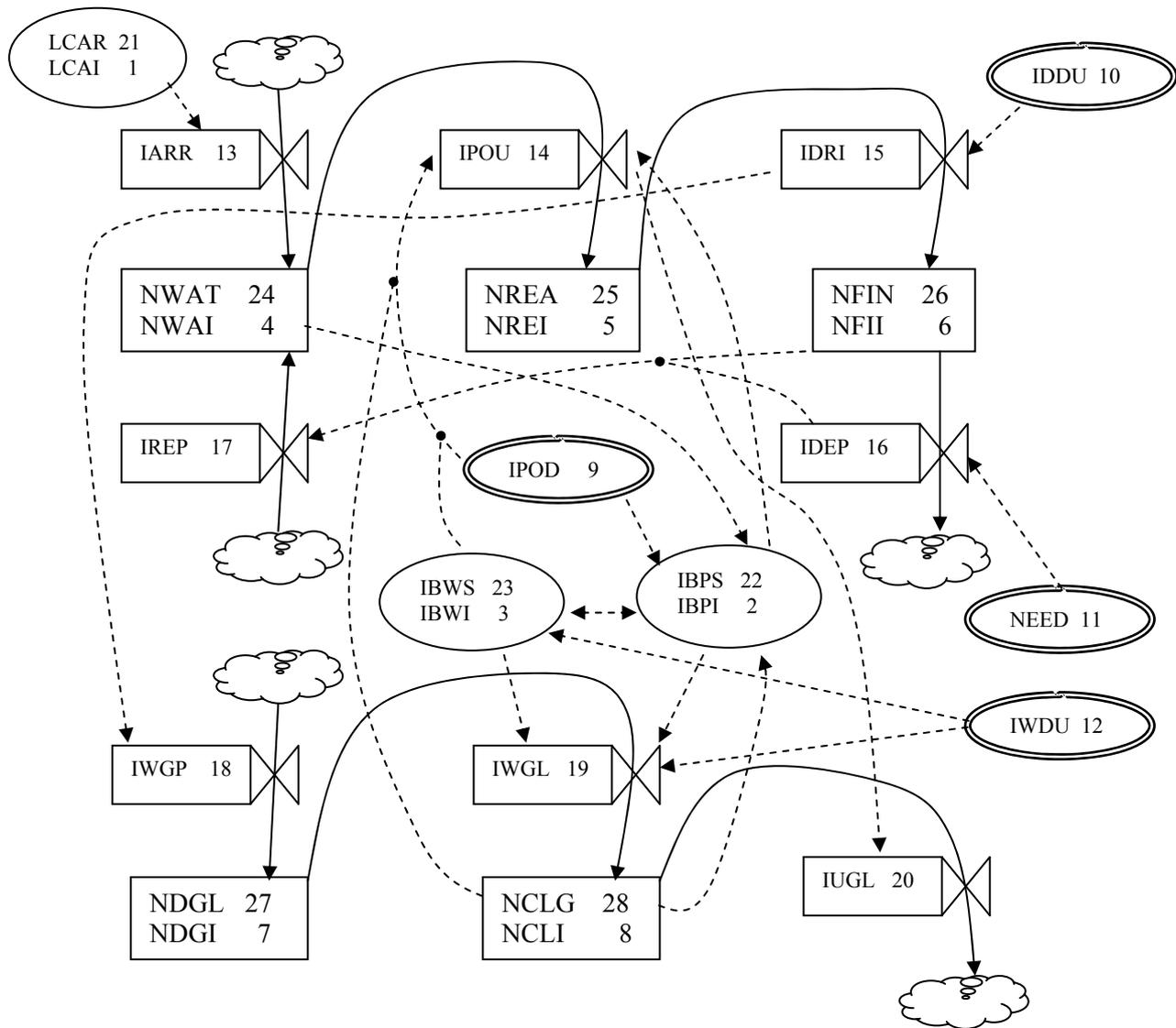
2.4.4.1 Planteamiento de objetivos y restricciones.

- Conociendo el tiempo que necesita una camarera para servir una bebida y el tiempo que necesita para lavar un vaso;
- sabiendo que los clientes llagan siguiendo una ley exponencial negativa de media 10, que el tiempo que necesitan para consumir una bebida está uniformemente distribuido entre 5 y 8, y que su necesidad de otra bebida está uniformemente distribuida entre 1 y 4;
- queremos determinar cómo varía con el tiempo el número de clientes esperando para que les sirvan, el número de clientes servidos, y el porcentaje de su tiempo en que la camarera está sirviendo, lavando o desocupada.

2.4.4.2 Selección de las variables relevantes.

La lista de variables que los métodos conocidos seleccionaron es la siguiente.

- 1 LCAI Minuto inicial en que llegó el último cliente.
- 2 IBPI Camarera inicialmente sirviendo o no (0=NO, 1=SÍ).
- 3 IBWI Camarera inicialmente lavando vasos o no (0 o 1).
- 4 Nwai Número inicial de clientes esperando ser servidos.
- 5 NREI Número inicial de clientes servidos.
- 6 NFII Número inicial de clientes que han terminado su bebida.
- 7 NDGI Número inicial de vasos sucios.
- 8 NCLI Número inicial de vasos limpios.
- 9 IPOD Duración de un servicio (minutos).
- 10 IDDU Duración de una bebida (minutos).
- 11 NEED Probabilidad de repetición de la bebida.
- 12 IWDU Duración de la operación de lavado de un vaso (min.).
- 13 IARR Llegada de un cliente (0 o 1 en un minuto dado).
- 14 IPOU Cliente siendo servido (0 o 1 en un minuto dado).
- 15 IDRI Número de clientes que han terminado su bebida.
- 16 IDEP Número de clientes saliendo del pub.
- 17 IREP Número de clientes que desean repetir.
- 18 IWGP Número de vasos vacíos retirados en un minuto dado.
- 19 IWGL Número de vasos lavados en un minuto dado.
- 20 IUGL Número de vasos usados en un minuto dado.
- 21 Lcar Tiempo en que llegó el último cliente (minuto n°).
- 22 IBPS Camarera sirviendo o no (0 o 1).
- 23 IBWS Camarera lavando o no (0 o 1).
- 24 NWAT Número de clientes esperando ser servidos.
- 25 NREA Número de clientes servidos.
- 26 NFIN Número de clientes que han terminado su bebida.
- 27 NDGL Número de vasos sucios.
- 28 NCLG Número de vasos limpios.



2.4.4.4 Representación funcional de las relaciones.

La lista de ecuaciones y/o reglas que describen el comportamiento de las variables del modelo (contenido del fichero Gpub.txt) y que se deducen de la interpretación del planteamiento de objetivos y restricciones son las siguientes (las comentaremos después).

```

LCAR x=k-lcai:px=.1*exp(-.1*x):if rnd<=px then lcar=k
IARR x=k-lcai:px=.1*exp(-.1*x):if rnd<=px then iarr=1 else iarr=0
IWGP iwgp=idri
IREP irep=nfii-idep
IBPS if nwai>0 and ncli>0 and ibpi=0 and ibwi=0 then
    ibps=1
    else if ibpi>0 and ibpi<ipod then ibps=ibpi+1
    else if ibpi=ipod then ibps=0
    
```

```

endif
IPOU if nwai>0 and ncli>0 and ibpi=0 and ibwi=0 then
  ipou=0
  else if ibpi>0 and ibpi<ipod then ipou=0
  else if ibpi=ipod then ipou=1
endif
IBWS if ndgi>0 and ibwi=0 and ibpi=0 then
  ibws=1
  else if ibwi>0 and ibwi<iwdu then ibws=ibwi+1
  else if ibwi=iwdu then ibws=0
endif
IWGL if ndgi>0 and ibwi=0 and ibpi=0 then
  iwgl=0
  else if ibwi>0 and ibwi<iwdu then iwgl=0
  else if ibwi=iwdu then iwgl=1
endif
IDRI idri=0:for i1=1 to nrei:if rnd<iddu then idri=idri+1
next
IUGL iugl=ipou
IDEP idep=0:for i1=1 to nfii:if rnd<need then idep=idep+1
next
NWAI nwai=nwai+iarr+irep-ipou
NREA nrea=nrei+ipou-idri
NFIN nfin=nfii+idri-idep
NDGL ndgl=ndgi+iwgp-iwgl
NCLG nclg=ncli+iwgl-iugl

```

Las relaciones LCAR y IARR se interpretan como sigue: siendo k el contador de tiempo, siendo X el número de periodos transcurrido desde la llegada del última cliente, siendo PX la probabilidad de X , y siendo RND un número aleatorio uniformemente distribuido entre 0 y 1, si obtenemos un valor de RND menor que PX llega un cliente y entonces $IARR=1$ y $LCAR=k$.

La relación IWGP es evidente. La relación IREP establece que los clientes que terminan su bebida y no se van repiten la bebida.

Las relaciones IPOU e IBPS establecen que si hay clientes esperando ser servidos, hay vasos limpios, y la camarera está libre, entonces la camarera empieza a servir, pero: si la camarera ya estaba sirviendo y no había terminado, entonces continúa sirviendo, y si ya había terminado entonces ya hay un cliente servido más.

Las relaciones IBWS e IWGL establecen que si hay vasos sucios y la camarera está desocupada, entonces la camarera empieza a lavar vasos, pero: si estaba lavando vasos y no había terminado entonces continúa haciéndolo, y si ya había terminado entonces ya hay un vaso limpio más.

La relación IDRI cuenta el número de clientes que terminan su bebida en un periodo dado. Para cada cliente bebiendo obtiene un número aleatorio uniformemente distribuido entre 0 y 1. Si ese número es menor que la probabilidad de que ese cliente haya terminado su bebida, entonces ese cliente se va.

La relación IUGL es evidente. La relación IDEP cuenta el número de clientes que se van en un periodo determinado y es similar a la IDRI. Las relaciones que quedan son evidentes.

2.4.4.5 Programación para la computadora.

En el desarrollo de una sesión de trabajo con SIGEM correspondiente a este ejercicio podrán verse los programas producidos por SIGEM.

2.4.4.6 Diseño de experimentos.

Recordemos el planteamiento del problema: véase 2.4.4.1. En este caso tan simplificado de lo que es el funcionamiento de un bar, ¿Qué puede interesarnos averiguar? Obviamente, nos interesará averiguar si la camarera puede o no atender a su trabajo y si el negocio será o no interesante (número de clientes atendidos y porcentaje de ocupación del tiempo de la camarera). Otras cuestiones posteriores pueden ser las siguientes.

(a) En el caso de que las colas de clientes esperando ser atendidos o de vasos sucios fuesen excesivas, ¿Convendría introducir otras tecnologías para acelerar los procesos de lavado de vasos o de servicio a los clientes? Por ejemplo: una máquina de lavar vasos o el sistema de autoservicio a las mesas.

(b) Cuando la camarera inicia su trabajo, ¿Qué es más conveniente, comenzar lavando vasos o atendiendo a los clientes que esperan?

(c) Se supone que no es posible influir sobre la llegada de un número mayor de clientes pero, ¿Convendría introducir nuevas técnicas para que los clientes que acuden repitiesen más veces la consumición? Por ejemplo: una televisión, juegos, etc.

(d) ¿Convendría que el número total de vasos fuese mayor? o ¿Convendría lavarlos a otra hora?

Para poder contestar a la pregunta (a) se requieren los valores de IPOD y IWDU correspondientes a las distintas alternativas. Para contestar a la pregunta (c) se requieren los valores de IDDU y NEED de las alternativas correspondientes. La cuestión (b) se contesta dando los valores 1 y 0 ó bien 0 y 1 a las variables IBPI e IBWI en relación con los valores estimados de NDGI (número inicial de vasos sucios), NCLI (número inicial de vasos limpios) y, Nwai (número inicial de clientes esperando). Con relación a la cuestión (d) se requieren los valores de NDGI y NCLI alternativos.

Parece lógico pensar que no todos los días son iguales respecto a la afluencia de clientes, y tampoco lo son todas las horas del día. No obstante, el enunciado así parece considerarlo. La consecuencia para nosotros es que lo que se desea estudiar es una determinada hora de un determinado día. Simularemos, por tanto, el comportamiento del pub en una hora, es decir, en 60 minutos, puesto que los tiempos de las operaciones los tenemos en minutos.

Conviene hacer notar cuales son las variables de acción o de control del sistema (las que el usuario controlar), y cuáles son las variables esenciales (las que permiten evaluar el resultado de un ensayo). En este caso, son de acción: IBPI, IBWI, IPOD, IWDU, IDDU, NEED, NDGI, NCLI; y son esenciales: NWAT, NREA, NFIN, NDGL, NCLG.

Como consecuencia de los razonamientos anteriores proponemos los siguientes ensayos.

Ensayo 1: Situación actual. Daremos los valores promedio observados en la realidad a las variables de estado inicial del sistema, a IDDU y a NEED les daremos valores aleatorios distribuidos como indica el enunciado, y a IPOD y IWDU les daremos los valores conocidos de la situación actual. Por ejemplo: LCAI=1; IBPI=0; IBWI=1; Nwai=3; NREI=2; NFII=1; NDGI=5; NCLI=10; IPOD=1.1; IDDU=5,25/6,25/7,25/8,25; NEED=1,25/2,25/3,25/4,25; IWDU=0.25.

Ensayo 2: ¿Empezar lavando o sirviendo? Para contestar esta pregunta se requiere repetir el ensayo 1 con los valores IBPI=1; IBWI=0.

Ensayo 3: ¿Introducir una máquina de lavar vasos? Probaríamos con los mismos datos pero con IWDU=0.10.

Ensayo 4: ¿Autoservicio? Cambiaríamos el valor de IPOD dándole el valor 0.30.

Ensayo 5: ¿Televisión y/o juegos? Probaríamos las correspondientes tablas de valores de IDDU y NEED. Por ejemplo: IDDU=6,25/7,25/8,25/9,25; NEED=3,25/4,25/5,25/6,26.

Ensayo 6: Seleccionar la mejor combinación de alternativas. En un caso sencillo como este tenemos solamente 16 combinaciones de alternativas y no es mucho trabajo probarlas todas. En situaciones reales el número de combinaciones suele ser de miles, quizás millones, y suele ser necesario recurrir al muestreo. Es decir, si no tenemos tiempo o medios de cálculo para evaluar todas las posibilidades, seleccionemos una muestra aleatoria representativa del total y quedémonos con la mejor solución dentro de esa muestra. Se demuestra con relativa facilidad que una muestra aleatoria de tamaño $n=60$ permite capturar al menos a una solución situada dentro del $p=5\%$ de las mejores con una probabilidad del $P=95\%$, cualquiera que sea el número total de posibilidades. Para $p=1\%$ y $P=99\%$ se obtiene un tamaño de muestra $n=460$. La relación utilizada para el cálculo es: $P=1-(1-p)^n$, que una vez meditada resulta evidente. No obstante, este tipo de enfoque es más adecuado para modelos de tipo determinista que para modelos de tipo estocástico como es el caso que nos ocupa. Téngase en cuenta que cada ensayo debe repetirse un cierto número de veces con valores al azar de IDDU, NEED, LCAR y IARR, y tomar como valores de las variables esenciales los promedios correspondientes. Entonces cabe que nos preguntemos: dada una diferencia entre los valores promedio de una variable esencial correspondientes a dos ensayos distintos ¿Es significativa? Es decir, ¿se debe a que realmente hay diferencia entre los dos ensayos? o ¿se debe al efecto del azar? Para dilucidar cuestiones como esta hay que recurrir al Análisis de Varianza y a las técnicas de diseño de experimentos apropiadas.

2.5 DISCUSIÓN

En este punto trataremos de efectuar algunas comparaciones, tanto en lo referente a la metodología propuesta como al ejemplo estudiado, con otras alternativas conocidas. Las comparaciones que haremos no son las únicas posibles ni siquiera las más significativas, pueden considerarse con elegidas al azar y las realizamos con el único fin de ilustrar el tipo de diferencias que pueden existir y el modo de establecer comparaciones.

2.5.1 Comparación entre eLSE y SIGEM.

El ejemplo del pub puede encontrarse también en un artículo de Crookes et al. (1986), enfocado desde el entorno eLSE elaborado por la universidad de Lancaster (U.K.).

Comienza esta metodología elaborando, a partir de la descripción del problema, el diagrama llamado de "ciclo de actividades" o de actividades y colas, o de actividades simplemente. La idea que lo rige es que en el sistema real existen "entidades" que circulan y que se detienen. Cuando se detienen lo hacen en una "cola" a la espera de que se ejecute sobre ellas o con ellas una "actividad". Las actividades están relacionadas con determinados "sucesos". Así pues, es necesario distinguir los siguientes tipos de elementos.

- Entidades. En el ejemplo del pub: clientes, vasos, camarera.
- Colas. Son estados pasivos de las entidades. Son colas los estados de espera de los clientes para ser atendidos por la camarera, y los de los vasos para ser lavados.
- Actividades. Su iniciación depende de que existan entidades disponibles en las respectivas colas. Por ejemplo: la actividad servir una bebida solo podrá iniciarse cuando existan clientes esperando, vasos limpios y la camarera desocupada.
- Sucesos. Son cambios de estado del modelo que ocurren en un instante del tiempo. Son

de destacar los sucesos que corresponden al fin de las actividades ("sucesos finales") y los que se corresponden con el inicio de las mismas ("sucesos condicionales").

El paso siguiente de esta metodología es la programación del modelo siguiendo el llamado "método de las tres fases" que consiste en, previa inicialización:

Fase A. Comprobar el tiempo de finalización de las actividades en progreso. Encontrar el menor y avanzar el reloj hasta ese tiempo.

Fase B. Ejecutar los sucesos finales identificados en la fase A, es decir, mover las entidades apropiadas dentro de las respectivas colas.

Fase C. Intentar ejecutar todos los sucesos condicionales en turno y ejecutar aquellos cuyas condiciones se cumplen. Repetir el intento hasta que ya no sea posible ejecutar ninguno más de estos sucesos, es decir, hasta que ya no puedan iniciarse más actividades.

Finalmente, pasar otra vez a la fase A, o elaborar resultados y terminar.

La programación la realiza el usuario en PASCAL ayudándose de la librería de eLSE y de un programa marco o esquemático que se le proporciona. La librería de eLSE contiene cinco unidades denominadas: (1) Entidades, (2) Muestreo, (3) Histogramas, (4) Colas, (5) Pantallas. Cada una de estas cinco unidades contiene: declaraciones, procedimientos y funciones, que tienen que ver con algún aspecto del programa que se construye. El programa marco lo rellena el usuario programando, con ayuda de la librería, los sucesos condicionales y finales de las actividades, la inicialización y la producción de informes.

Respecto a la comparación entre esta metodología y la que va asociada con SIGEM diremos:

- SIGEM no necesita clasificar los elementos más que en variables de estado (las que necesitan un valor inicial) y de no estado, mientras que eLSE necesita identificar entidades, colas, actividades y sucesos. El tipo de diagrama que exige SIGEM es de puras conexiones tipo influencia/dependencia mientras que el de eLSE representa movimientos de entidades entre colas a través de actividades. El análisis del sistema es, en principio, más sencillo en SIGEM.

- El entorno eLSE solo puede aplicarse a un sistema que pueda acoplarse a un análisis de sus elementos como el que se ha especificado. Es decir, eLSE solo es aplicable para construir programas de Simulación de Sucesos Discretos (DEVs), mientras que SIGEM tiene un espectro de posibilidades mucho más amplio.

- La parte esencial de eLSE es una librería de declaraciones, procedimientos y funciones que el usuario utiliza para construir su programa, facilitándosele así la tarea. El usuario necesita una cierta dosis de entrenamiento en programación. En cambio, SIGEM es un generador de código fuente de proyectos completos, que reduce la intervención del usuario a contestar preguntas del tipo sí ó no y a escribir las ecuaciones y/o tablas y/o reglas que determinan las relaciones por las que cada variable se obtiene a partir de otras. Por consiguiente, SIGEM requiere, en principio, menos entrenamiento en programación y menos trabajo que eLSE.

2.5.2 Comparación entre MATLAB/SIMULINK y SIGEM.

Las diferencias esenciales que hemos encontrado entre estas dos aplicaciones informáticas son las siguientes.

- SIGEM actúa como un experto que dialoga con el usuario y produce unos programas en lenguaje fuente como resultado. Estos programas representan un prototipo del modelo que se

está elaborando. MATLAB/SIMULINK es un entorno en el cual el usuario puede encontrar una caja de herramientas que le ayudan a definir, identificar, validar, simular, conectar subsistemas, etc. MATLAB no produce ningún programa independiente.

– En MATLAB el usuario debe conocer un cierto conjunto de comandos y necesita entrenamiento. Con SIGEM no se necesita aprender comandos y el entrenamiento específico requerido es muy pequeño.

– MATLAB trata mayormente con sistemas lineales invariantes con el tiempo, es decir, $x'=Ax+B$, $y'=Cx+D$, siendo x el vector espacio de estado, u el vector de entradas, y es el vector de salidas, y A , B , C , D , son matrices que MATLAB identifica a partir de los datos de campo que se le suministran. En cambio, SIGEM es una herramienta de tipo más general. Puede ayudar al usuario a construir modelos tanto cuantitativos como cualitativos, tanto modelos dinámicos como estáticos, tanto estocásticos como deterministas, tanto continuos como discretos, tanto lineales como no lineales, tanto invariantes con el tiempo como con relaciones internas ligadas al tiempo. Permite al usuario introducir en el modelo relaciones expresadas por medio de tablas, de ecuaciones, de reglas o combinaciones de ecuaciones y reglas. Permite al usuario utilizar en el modelo variables literales, numéricas, deterministas, estocásticas, simples, o indexadas, y entradas constantes o/y variando con el tiempo.

– El acoplamiento de subsistemas en un suprasistema único se puede realizar con ambos paquetes, pero la descomposición automática de un sistema en subsistemas ensamblables de tamaño elegido por el usuario solamente la realiza SIGEM.

– Respecto a sistemas no lineales y a diagramas, MATLAB obliga a la construcción en pantalla de un diagrama de tal complejidad que, como el sistema no sea muy sencillo resulta prácticamente inabordable. Téngase en cuenta que para realizar una simple suma el diagrama necesita 3 iconos. En cambio SIGEM no exige diagrama alguno en pantalla. Los diagramas de SIGEM son ayudas opcionales, muy recomendables para el modelizador, pero pueden ser contruidos a mano y presentados en limpio únicamente cuando se trata de explicar el modelo a otras personas.

2.5.3 Comparación entre STELA y/o VENSIM y SIGEM

– STELA y VENSIM son dos entornos. Es decir, los modelos con ellos se producen no pueden salir de ellos (sin pagar “royalties”, se entiende). En cambio, SIGEM permite crear aplicaciones totalmente independientes, únicamente sometidas al lenguaje de programación (Visual Basic) y a una hoja de cálculo para cuestiones estéticas.

– STELA y VENSIM obligan al usuario a manejar un interface gráfico y a dibujar el diagrama de Forrester en pantalla (lo cual en modelos complejos es realmente un problema). En cambio SIGEM no obliga a dibujar ningún diagrama, usa un interface de dialogo (más eficiente, según Zhang et al. (1990)) y permite al usuario trabajar con ficheros de texto (donde es mucho más fácil corregir errores).

– STELA y VENSIM están más restringidos (tienen menos posibilidades) que SIGEM en cuanto al tipo de modelos y al tipo de variables a manejar en los mismos.

REFERENCIAS

Balci, O., (1986), "Requirements for model development techniques", *Computers and Operations Research* 13, N.1, pp 53-67.

Bollen, K.A., 1989, *Structural equations with latent variables*. John Wiley & Sons. New York
Bunge, M., 1972, *Theory and Reality*. M. Bunge, ed. Montreal.

Caselles, A., (1984), "A method to compare theories in the light of the General Systems Theory", in: R. Trappl (ed.), *Cybernetics and Systems 2*. Elsevier S.P.B.V. (North Holland), Amsterdam.

Caselles, A., (1988), "SIGEM: A realistic models generator expert system", in: R. Trappl (ed.), *Cybernetics and Systems'88*. Kluwer A.P., Dordrecht.

Caselles, A., (1991), "A problem structuring method", in: M.C. Jackson, R.L. Flood, R.B. Blackman, G.L. Mansell and S.V.E. Probert (ed.), *Systems Thinking in Europe*, Plenum P.C., London.

Caselles, A., (1992a), *Simulation of Large Scale Stochastic Systems*. In *Cybernetics and Systems'92*, R. Trappl (Ed.). World Scientific, pp. 221-228.

Caselles, A., (1992b) "Structure and Behavior in General Systems Theory". *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 23 pp. 549-560.

Caselles, A., (1993a) "Systems Decomposition and coupling". *Cybernetics and Systems: An International journal* (in press).

Caselles, A., (1994a) "Improvements in the Systems Based Program Generator SIGEM", *Cybernetics and Systems: An International journal*, 25:81-103.

Caselles, A., (1994b) "Goal-Seeking Systems", R. Trappl (ed.) *Cybernetics and Systems Research'94*. World Scientific Publishing Corp. Singapore. pp. 87-94. ISBN: 981-02-1936-9. ISBN 981-02-1761-7 (set).

Caselles, A., (1995) "Systems Autonomy and Learning from Experience", *Advances in Systems Science and Applications*. Inauguration Issue. pp. 97-102. ISSN 1078-6236.

Caselles, A., (1996) "Building Intelligent Systems from General systems Theory." R. Trappl (ed.) *Cybernetics and Systems Research'96*. Austrian Society for Cybernetic Studies. Vienna. pp. 49-54. ISBN 3 85206 133 4

Caselles, A., (1998) "REGINT: A Tool for Discovery by Complex Function Fitting." R. Trappl (ed.) *Cybernetics and Systems'98*. Austrian Society for Cybernetic Studies. Vienna. pp. 787-792. ISBN 3 85206 139 3

Caselles, A., Ferrer, L., Martínez de Lejarza, I., Pla, R., Temre, R. (1999) "Control del desempleo por Simulación." Editorial: Universitat de València. ISBN: 84-370-4167-8. 300 páginas más un CDROM con programas.

Caselles, A., Temre, R., Martínez de Lejarza, I. (2000), "A Systems Dynamics Model for Unemployment Control", R. Trappl (Ed.) *Cybernetics and Systems'00*. Austrian Society for Cybernetic Studies. Vienna. pp. 498-503, ISBN 3 85206 151 2.

Caselles, A. y Romero P.D., 2004 "Aplicación de la dinámica de sistemas al control de la accesibilidad a la vivienda". *Revista Española de Sistemas* Vol. 3 N° 1 pp. 21-66.

Crookes, J.G., D.W. Balmer, S.T. Checa and R.J. Paul, (1986), "A three phase simulation modeling system written in Pascal", *Journal of Operations Research Society*. 6, 603-618.

Davies, R. and R. O'Keefe, (1989), *Simulation Modeling with Pascal*. Prentice Hall. New York.

Forrester, J., (1961), *Industrial Dynamics*. M.I.T. Press.

Forrester, J., (1966), *Principles of Systems*. M.I.T. Press.

Forrester, J., (1970), *Urban Dynamics*. M.I.T. Press.

Gelovany, V.A., (1985), "A man-machine simulation system for global development processes", in: J.M. Gvishiani (Ed.), *Systems Research II* Pergamon Press, London.

Gorokhov, G.V., (1985), "Development of Systems Engineering Theory", in: J.M. Gvishiani (ed.), *Systems Research II*, Pergamon Press, London.

Hackstaff, L.H., 1966, *Systems of formal Logics*. Reidel, ed., Dordrecht.

Klir, G.J., (1985), *Architecture of Systems Problem Solving*. Plenum Press. New York.
Lakatos, I., 1971, *In memory of Rudolf Carnap*. Reidel ed., Dordrecht.

Linstone H.A., and Turoff, M., 1975, *The Delphi Method: Techniques and Applications*. Addison Wesley. Reading. Mass.

Mathewson, S.C., (1989), "The implementation of Simulation languages". In M. Pidd (ed), *Computer Modelling and Simulation*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

Melése, J., 1976, *La Gestion par les Systèmes*. Dunod. Paris

Meyer, J.A., S. des Clers and Chahuneau, F.(1979), "La Simulation Numerique des systemes Complexes: object et Techniques", in: *Actes du Colloque Elaboration et Justification des Modeles*. Maloine S.A., Paris.

Micó, J.C. and Caselles, A. (1998), "Space-Time Simulation Models for Social Systems", R. Trappl (ed.) *Cybernetics and Systems'98*. Austrian Society for Cybernetic Studies. Vienna. pp. 486-491, ISBN 3 85206 139 3

Micó, J.C., Caselles, A., Ferrer, L., Soler, D. (2002) "The Multidimensional Approach in Systems Dynamics, Modeling Urban Systems". *Journal of Applied Systems Studies*, Vol. 3, No. 3, pp. 644-655.

Miller, D., (1976). *Verisimilitude Redeflated*. *The British Journal for Philosophy of Science* 27(4):363-380.

Miller, J.G., (1978). *Living Systems*. McGraw-Hill. New York.

Morecroft, J.D.W., (1982), *A critical Review of diagramming tools for conceptualizing*

feedback system models. *Dynamics*, vol. 8, part 1, pp 20-29.

Popper, K.R., 1972, *Objective Knowledge*. The Clarendon Pr. Oxford.

Popper, K.R., 1976, A note on Verisimilitude. *The british Journal for Philosophy of Science*. Sage, A.P., (1977), *Methodology for Large Scale Systems*, McGraw Hill. N.Y.

Simonot, F., LeDoeuf, R., Haddad, S., Benkhoris, M.F., (1990), *Rev. Gen. Electr. (France)* Vol 1, pp 5-8.

Solé, R.V. y Manrubia, S.C., 1996, *Orden y caos en sistemas complejos*. Universidad Politénica de Cataluña. Barcelona.

Standbridge, C.R., (1985), *Performing simulation Projects with extended simulation system (1ESS)*”, *Simulation*, 45, 283.

Von Bertalanffy, L., 1972, *History and Situation of General Systems theory*. In Klir, G.J. (ed.), J. Wiley & Sons Inc.

Wartofsky, M.W. 1968, *Conceptual Foundations of Scientific Thought. An Introduction to Philosophy of Science*. Mac Millan ed.

National Journal. 23:549-560.

Yang, Z., 1989, *New model of General Systems Theory*. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 20: 67-76.

Zeigler. B.P., (1984), *Multifaceted Modeling and Discrete Event Simulation*, Academic Press, London.

Zeigler, B.P., (1987), “Hierarchical, Modular, Discrete Event Modeling in an Object Oriented Environment, *Simulation* 47:5.

Zeigler, B.P., (1989), “DEVS Representation of Dynamical Systems: Event-Based Intelligent Control”. *Proceedings of the IEEE*, Vol.77, No.1, pp. 72-80.

Zeigler, B.P., (1990), “Object Oriented Simulation with Hierarchical, Modular, Models”. Academic Press. London.

Zhang, S.H., Schroer, B.J., Messimer, S.L., and Tseng, F.T., (1990), “Software Engineering and Simulation”. *Third Inc. Sof. For Strat. Synth. Conf. Proc.*, pp. 33-42. University of Alabama.

Apéndice 1

Sistemas cibernéticos, sistemas con objetivos y sistemas vivos

Cibernética: ciencia y tecnología de la comunicación y el control en los sistemas vivientes y en las máquinas.

Diagrama de un sistema autocontrolado

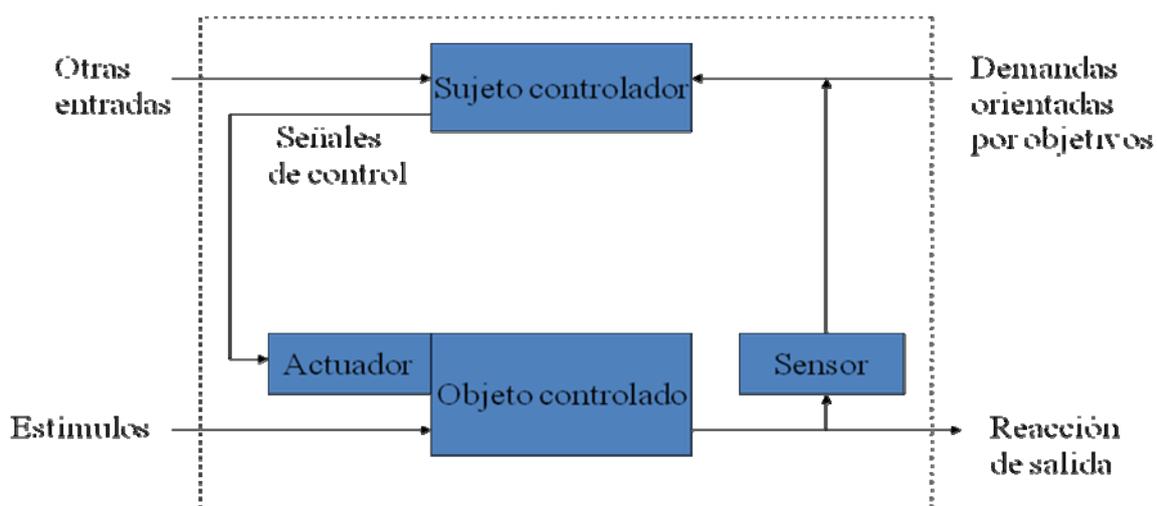
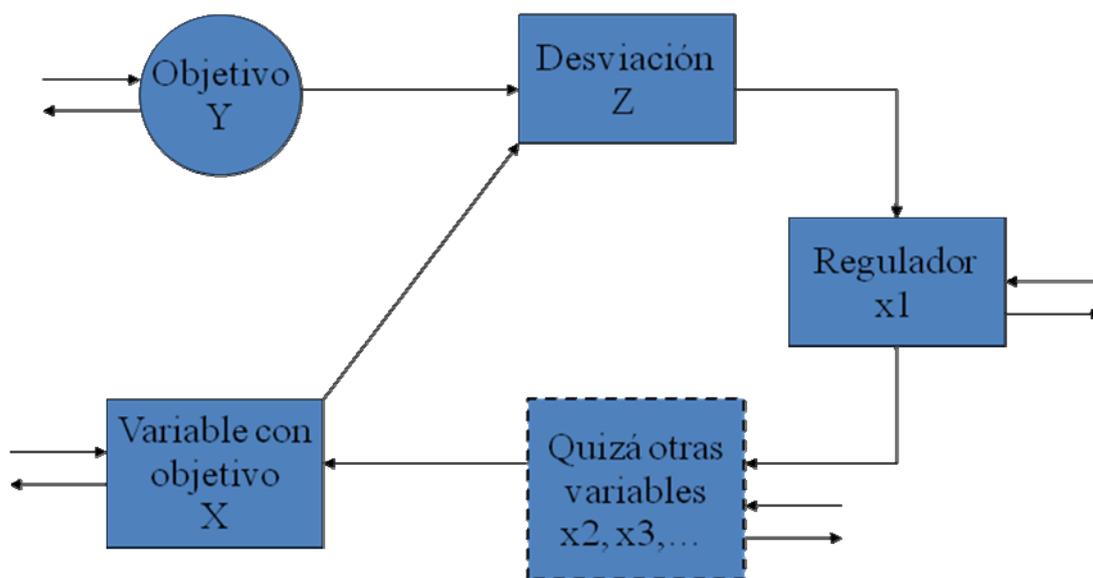


Diagrama de una variable con objetivo y otras variables conexas



Sobre la Teoría de los sistemas vivos de Miller.

Miller (1978) elabora toda una teoría de los sistemas vivos cuya parte más interesante para nosotros se resume a continuación. Se trata de un esquema general o plantilla en la que encajar un posible modelo de un sistema viviente, desde una célula hasta el mundo entero. No quiere esto decir que obligatoriamente haya que ajustarse a este esquema cuando se modeliza un sistema viviente. Que esto se haga o no dependerá de los objetivos para los que se construya el modelo. En todo caso, es una ayuda para no olvidar algún aspecto importante.

Sistema viviente.

Es un sistema abierto y con objetivos compuesto de subsistemas que procesan entradas, salidas y circulaciones, de varias formas de materia, energía e información.

Se agrupan o agregan en siete niveles de integración o suprasistemas y se desagregan en diecinueve subsistemas esenciales para la vida.

En cada uno de los subsistemas hay que distinguir tres aspectos fundamentales:

- a) **estructura** (órganos o entes, parte física y sus relaciones de influencia o dependencia);
- b) **comportamiento** o función (normas, restricciones, etc.);
- c) **control** (objetivos, decidores, normas de decisión).

Los 19 subsistemas esenciales para la vida.

1. **Reproductor.** Subsistema capaz de producir sistemas semejantes a aquel en el que se encuentra. Es esencial para la especie pero no para el individuo.
2. **Frontera.** Está en el perímetro del sistema. Mantiene juntos a los componentes del sistema. Permite o no determinados intercambios de materia, energía e información.
3. **Ingestor.** Introduce materia y/o energía en el sistema a través de la frontera desde el entorno.
4. **Distribuidor.** Reparte las entradas al sistema entre sus componentes y las salidas de los subsistemas entre sus componentes.
5. **Convertidor.** Convierte ciertas entradas del exterior en formas más útiles al sistema.
6. **Productor.** Forma asociaciones estables (por periodos significativos) entre las entradas de materia-energía al sistema o entre las salidas del convertidor, facilitando energía para el movimiento o constituyendo salidas para el suprasistema.
7. **Almacenador.** Guarda materia-energía por diferentes periodos de tiempo.
8. **Excretor.** Saca materia-energía del sistema como productos o desperdicios.
9. **Motor.** Mueve el sistema o sus partes en relación con el entorno, o mueve partes del entorno con relación a él.
10. **Sostén.** Mantiene la adecuada disposición espacial entre los componentes del sistema con el fin de evitar que interactúen con peso o se amontonen estorbándose.
11. **Traductor de entradas.** Introduce en el sistema a los portadores de información y los convierte en otras formas de materia-energía más adecuadas para el sistema.
12. **Traductor interno.** Recibe indicadores de alteraciones significativas en otros componentes del sistema y las convierte en otras formas de materia-energía mejor transmisibles.

13. **Canal y red.** Subsistema compuesto por una simple ruta o red de ellas por las cuales circulan los indicadores hacia cualquier parte del sistema.
14. **Descodificador.** Es el subsistema que convierte el código de la información que entra o atraviesa el sistema en código privado del sistema.
15. **Asociador.** Asocia informaciones relacionadas (el primer paso del aprendizaje).
16. **Memoria.** Almacena información durante diversos periodos de tiempo (el segundo paso del aprendizaje).
17. **Decisor.** Recibe información de todas las partes del sistema y les devuelve información de control.
18. **Codificador.** Traduce código privado de otro subsistema a código público para otros sistemas del entorno.
19. **Traductor de salidas.** Convierte indicadores internos del sistema en otras formas de materia-energía que pueden ser enviadas a través de canales del entorno.

Los 7 suprasistemas.

Los 19 subsistemas esenciales para la vida se mantienen y se van complicando en siete niveles de integración que son los siguientes:

1. **Célula.**
2. **Órgano.**
3. **Organismo.**
4. **Grupo.**
5. **Organización.**
6. **Sociedad.**
7. **Sistema supranacional de sociedades o de organizaciones.**

Los sistemas con un nivel de agregación menor que 1, es decir, los sistemas no vivos, podrían agregarse como sigue:

Partículas → átomos → moléculas → cristales y orgánulos (virus por ejemplo)

Los sistemas con nivel de agregación mayor que 7 incluyen sistemas vivos y no vivos, por ejemplo:

Ecosistemas → planetas → sistemas solares → galaxias → ... → universo

Al ascender en el nivel de agregación aparecen propiedades nuevas en el sistema que no estaban en ninguno de los subsistemas agregados. A este fenómeno se le conoce con el nombre de “**emergencia**”. Por ejemplo, al agregar hidrógeno y oxígeno se forma agua, cuya molécula tiene unas propiedades que no tienen ni el hidrógeno ni el oxígeno.

Apéndice 2

Nociones de Visual Basic 6

Visual Basic 6.0 (en adelante VB) es un lenguaje de programación de tipo general que resulta relativamente fácil de aprender. Aunque los programas elaborados con él resulten más lentos que los elaborados con el lenguaje C o el C++, para los casos en que el volumen de cálculo no es demasiado grande, este lenguaje resulta ventajoso.

Un programa contiene una entrada de datos, un algoritmo que los procesa y una salida de resultados. Los programas almacenan y procesan los datos (numéricos o no) en “variables”. Una variable es un nombre que designa una zona de la memoria del ordenador donde se almacena un dato (variable escalar) o una lista de datos (variable, vectorial, matricial, etc.). A cada variable se le da un nombre (generalmente corto, de unos pocos caracteres). Un algoritmo es un conjunto de operaciones ordenadas que producen un resultado. Estas “operaciones” pueden ser de varias clases: de control, de repetición, etc. Una operación consta de una o de varias frases o “sentencias” que van separadas por el signo “:” o por un salto de carro. Se pueden introducir comentarios, útiles al programador y que no forman parte del algoritmo, precediéndolos por la palabra REM o por una comilla simple “ ’ ”. Un programa escrito en un lenguaje de alto nivel como el VB puede ser “interpretado” o “compilado”. La interpretación la hace VB trabajando con el programa que nosotros hemos escrito o “programa fuente” (*.bas). La compilación (que también la puede hacer VB) consiste en la traducción del programa fuente a un lenguaje que entiende solo el ordenador o “lenguaje de máquina” produciendo un programa “ejecutable” (*.exe) desde el sistema operativo sin necesidad de la presencia del VB.

Nombres de las variables

El nombre de una variable (o de una constante) tiene que comenzar siempre por una letra y puede tener una longitud hasta 255 caracteres. No se admiten espacios o caracteres en blanco, ni puntos (.), ni otros caracteres especiales.

Los caracteres pueden ser letras, dígitos, el carácter de subrayado (_) y los caracteres %, &, #, !, @, y \$. El nombre de una variable no puede ser una palabra reservada del lenguaje (For, If, Loop, Next, Val, Hide, Caption, And, etc.). Para saber cuáles son las palabras reservadas en VB puede utilizarse el Help de dicho programa, buscando la referencia Reserved Words. De ordinario las palabras reservadas del lenguaje aparecen de color azul en el editor de código, lo que hace más fácil saber si una palabra es reservada o no.

A diferencia de otros lenguajes de programación, VB no distingue entre minúsculas y mayúsculas. La declaración del tipo (entera, real, alfanumérica, etc.) de una variable o la primera vez que se utiliza determinan cómo se escribe en el resto del programa. El tipo de una variable se declara de manera explícita o se determina por la primera letra de su nombre de acuerdo con unas reglas determinadas.

Tipos de variables

Las variables pueden ser:

1. Escalares
2. Vectoriales
3. Matriciales

Y también:

- a. Numéricas: enteras, reales de simple precisión, de doble precisión, etc.
- b. Cadenas de caracteres (alfanuméricas)

Tipos de Operadores

Los operadores sirven para combinar las variables en una fórmula. La siguiente tabla representa los distintos tipos de operadores de VB y su función.

Tipos de operador	Operación que realiza	Signo que lo representa
Aritméticos	Exponenciación	^
	Cambio de signo	-
	Multiplicación y división	*, /
	División entera	\
	Resto de una división entera	Mod
	Suma y resta	+, -
Concatenación	Concatenar o enlazar cadenas de caracteres	&, +
Asignación	Asigna un valor a una variable	=
Relacionales	Es igual a	=
	Es distinto de	<>
	Es menor que, es menor o igual que	<, <=
	Es mayor que, es mayor o igual que	>, >=
Otras comparaciones	Comparar dos expresiones de caracteres	Like
	Comparar dos referencias a objetos	Is
Lógicos	Negación	Not
	And	And
	Or inclusivo	Or
	Or exclusivo	Xor
	Equivalencia (opuesto a Xor)	Eqv
	Implicación (<i>False</i> si el primer operando es <i>True</i> y el segundo operando es <i>False</i>)	Imp

Sentencias de control

Las sentencias de control o estructuras de control, permiten tomar decisiones y realizar un proceso repetidas veces. Son las bifurcaciones y los bucles. VB dispone, entre otras, de las siguientes estructuras de control:

- Condicionales
 - If ... Then ... Else ...
 - Select Case
- Bucles de repetición
 - For ... Next
 - Do ... Loop
 - While ... Wend

La estructura If ... Then ... Else ...

Esta estructura permite ejecutar condicionalmente una o más sentencias y puede escribirse de dos formas. La primera ocupa sólo una línea y tiene la forma siguiente:

If condicion **Then** sentencia1 [**Else** sentencia2] *(el corchete significa que es opcional)*

La segunda es más general y se muestra a continuación:

```
If condicion Then
    sentencia(s)
[Else
    sentencia(s)] (el corchete significa que es opcional)
End If
```

Si el valor de *condicion* es *True* (verdadero), se ejecutan las sentencias que están a continuación de *Then*, y si el valor de *condicion* es *False* (falso), se ejecutan las sentencias que están a continuación de *Else*.

Para indicar que se quiere ejecutar uno de varios conjuntos de sentencias dependientes cada uno de ellos de una condición, escribiremos:

```
If condicion 1 Then
    Sentencias 1 (para cuando se cumple la condición 1)
ElseIf condición 2 Then
    Sentencias 2 (para cuando se cumple la condición 2)
ElseIf condicion ... Then
    Sentencias ...
Else
    Sentencias n (para el caso en que no se cumpla ninguna de las condiciones)
End If
```

La estructura Select Case

Esta estructura permite ejecutar una de entre varias acciones (conjuntos de sentencias) en función del valor de una expresión. Es una alternativa a *If ... Then ... ElseIf* útil cuando se compara la misma expresión con diferentes valores posibles. Su forma general es la siguiente:

```
Select Case expresión
Case H1
    [sentencias1]
Case H 2
    [sentencias2]
    .....
Case Else
    Sentencias para cuando no estamos en ninguno de los casos previstos
End Select
```

Dónde, según que el valor de *expresión* coincida con *H1*, *H2*, ... se ejecutarán los distintos conjuntos de sentencias. *H1*, *H2*, ... , pueden tomar de las formas siguientes:

1. *expresion*
2. *expresion To expresion*
3. **Is** operador-relacional *expresion*
4. combinación de las formas anteriores separadas por comas

Bucles de repetición

Un bucle repite la ejecución de un conjunto de sentencias mientras una condición dada sea cierta, o hasta que una condición dada sea cierta. La condición puede ser verificada antes o después de ejecutarse el conjunto de sentencias. Sus posibles formas son las siguientes:

Bucle For ... Next

For i=1 **To** n [step p] *(Se ejecutarán las Sentencias mientras el contador i esté entre 1 y n)*
Sentencias *(El contador i avanza de 1 en 1, o de p en p si se especifica step p)*
Next

Bucle Do ... Loop

Do [While/Until condicion] *(Se ejecutarán las Sentencias mientras (While) o hasta (Until) que la condición se cumpla.)*
[sentencias]
[Exit Do] *(Exit Do permite salir del bucle sin terminarlo.)*
[sentencias]
Loop

Do *(Con este formato la condición se comprueba al final.)*
[sentencias]
[Exit Do]
[sentencias]
Loop [While/Until condicion]

Bucle While ... Wend

While condicion *(Se ejecutarán las Sentencias mientras se cumpla la condición.)*
[sentencias]
Wend

Funciones

Un gran número de funciones están pre-programadas dentro del VB. Por ejemplo:

Función	En VB	Función	En VB
Valor absoluto	Abs(x)	Nº aleatorio entre 0 y 1	Rnd
Arco tangente	Atn(x)	Seno y coseno	Sin(x) , Cos(x)
Exponencial (e ^x)	Exp(x)	Tangente	Tan(x)
Parte entera	Int(x), Fix(x)	Raíz cuadrada	Sqr(x)
Logaritmo neperiano	Log(x)	Signo (1, 0, -1)	Sgn(x)
Redondeo a ndec decimales	Round(x, ndec)		

Las funciones trigonométricas de VB utilizan radianes para medir los ángulos.

Ejemplos:

Ejercicios con bucles:

1. Calcular la media aritmética dada una tabla de frecuencias.

Suponemos que X_i y N_i están en la memoria como vectores.

```
M = 0: For i = 1 To 5: M = M + Xi(i) * Ni(i) : Next
N = 0 : For i = 1 To 5 : N = N + Ni(i) : Next
M = M / N
```

i	X_i	N_i
1	3	4
2	5	7
3	9	18
4	12	6
5	20	4

2. Calcular probabilidades con la distribución de Poisson.

$$P = (\lambda^r / r!) \cdot e^{-\lambda}$$

Supuestos conocidos r y λ , a quien llamaremos L , primero calcularemos $r!$ y la llamaremos RF , y después P .

```
RF = 1 : For i = 2 To r : RF = RF * i : Next
P = L ^ r / RF * exp(-L)
```

Ejercicios con Condicionales

Dado un vector V de 200 números enteros, como por ejemplo

$V = (1, 3, 8, 14, 27, 84, 86, 125, 143, \dots)$,

1. Escribir los pares en otro vector $V1$.
2. Escribir los pares en $V1$ y los impares en $V2$.
3. Escribir los pares en $V1$, los múltiplos de 3 en $V2$, los de 5 en $V3$, y el resto en $V4$.
4. Análogamente los múltiplos de 4, los múltiplos de $4 + 1$, los múltiplos de $4 + 2$, etc., pero escribiendo los resultados en una matriz de nombre Mul en lugar de en vectores de diferente nombre.

El caso 1 consiste en un condicional dentro de un bucle. Como con los impares no hay que hacer nada, el algoritmo quedaría de esta manera:

```
for i = 1 to 200                                     '(caso 1)
  j = 1
  If V(i) Mod 2 = 0 Then
    V1(j) = V(i): j = j+1
  Endif
next
```

El caso 2 incluye lo que hay que hacer con los impares.

```
For i = 1 To 200                                     '(caso 2)
  j = 1 : k = 1
  If V(1) Mod 2 = 0 then
    V1(j) = V(i): j = j+1
  Else
    V2(k) = V(i) : k = k + 1
  Endif
```

Next

El caso 3 se resolvería con If, Elseif, Elseif, etc.

```
For i = 1 To 200                                '(caso 3)
  j=1: k=1: m=1: n=1
  If V(i) Mod 2 = 0 Then
    V1(j) = V(i): j = j+1 '(para cuando el número es par)
  ElseIf V(i) Mod 3 = 0 Then
    V2(k) = V(i): k = k+1 '(para cuando es múltiplo de 3)
  ElseIf V(i) Mod 5 = 0 Then
    V3(m) = V(i): m = m+1 '(para cuando es múltiplo de 5)
  Else
    V4(n) = V(i): n= n+1 '(para cuando no es múltiplo ni de 2, ni de 3 ni de 5))
  End If
Next
```

El caso 4 podría resolverse como el caso 3 pero lo haremos con Select Case.

```
For i = 1 To 200                                '(caso 4)
  k1=1: k2=1: k3=1: k4=1
  Select Case V(i) Mod 4
    Case 1
      Mul(1,k1)=V(i): k1=k1+1
    Case 2
      Mul(2,k2)=V(i): k2=k2+1
    Case 3
      Mul(3,k3)=V(i): k3=k3+1
    Case Else
      Mul(4,k4)=V(i): k4=k4+1
  End Select
Next
```

Para más ejemplos y casos posibles se recomienda consultar la ayuda de Visual Basic 6.

Apéndice 3

Métodos aplicables ante la escasez de datos históricos

PROSPECTIVA

INTRODUCCION

El objetivo de la prospectiva es anticipar el futuro de forma fiable. La Prospectiva trata de aplicar el método científico dentro de su metodología. Se basa en que **el futuro se construye** y, si sabemos quiénes y cómo, podremos simular el proceso y anticipar los detalles.

En realidad Prospectiva y Estrategia son casi lo mismo, varían en el punto donde se hace énfasis. La Prospectiva hace énfasis en la anticipación de acontecimientos y la Estrategia en quienes y como preparan estos acontecimientos. Es obvio que se necesita un modelo del comportamiento del sistema con el que se trabaja, por consiguiente podría considerarse como integrada en la Teoría de Sistemas en lo que hace referencia a construcción de sistemas nuevos o a la preparación de los datos (valores de las variables de entrada) para efectuar simulaciones.

Tradicionalmente, (desde los años cuarenta en que apareció) ha tenido un carácter independiente considerándose como la ciencia (?) que estudia los métodos para anticipar o pre-ver los futuros posibles y el camino que conduce a ellos en cada situación determinada. Hoy día, como hemos apuntado antes, quedaría reducida a algunos métodos para preparar datos para simular con ellos y totalmente absorbida por la Teoría de Sistemas.

LOS METODOS DE LA PROSPECTIVA

En realidad son métodos para construir modelos y simular con ellos. Se decía que tienen una parte descriptiva, una parte predictiva y una parte normativa. Efectivamente, primero hay que describir el sistema (construir el modelo), después utilizarlo para hacer predicciones y por último sacar consecuencias sobre lo que hay que hacer para lograr el futuro apetecido. Todo ello, como puede verse, forma parte de la metodología sistémica general.

Teníamos métodos "sintéticos" (cualitativos y de tipo "caja negra"); métodos "semi-analíticos" (con cuantificaciones basadas en opiniones de expertos y descripciones poco detalladas) y métodos "analíticos" (que usan descripciones detalladas y cuantificaciones basadas en datos observados). Ahora se habla de metodologías sistémicas de tipo "soft" y de tipo "hard" con sentido análogo. Por consiguiente, queda claro que tenemos que construir un modelo (o modelos) mental o computarizado, cualitativo, cuantitativo o "semi"; y después simular con él (o ellos); para sacar consecuencias que nos conduzcan a la elaboración de un programa de actividades interventoras sobre el sistema distribuidas a lo largo del tiempo.

Entre los métodos prospectivos destacamos los siguientes:

- Métodos sintéticos:
 - Brainstorming, Brainwriting y Delphi.
- Métodos semi-analíticos
 - Construcción de escenarios
 - Cross-impact
 - Con sucesos y/o con tendencias.
 - Monoperiodo o multiperiodo.
 - Con impactos estimados o con impactos obtenidos por regresión.
- Métodos analíticos:
 - Series temporales: Regresión simple o múltiple, lineal e no lineal.
 - Medias móviles.
 - Auto regresión (ARIMA ó técnica de Box-Jenkins).
 - Árboles de decisión.
 - Simulación con modelos dinámicos: utilización de modelos cuantitativos con muchas variables interrelacionadas, conectados con la construcción de escenarios y técnicas de tipo estocástico.
 - ...

¿Qué no debemos olvidar al utilizar estos métodos?

- (a) El futuro deseado nos hace determinar el presente, teniendo en cuenta nuestros conocimientos. El futuro no es único y cierto.
- (b) Los inconvenientes tradicionales de la previsión son:
 - El efecto anuncio: incitativo o disuasivo
 - La insuficiencia de información y la inexactitud de los datos
 - La inestabilidad, la parcialidad y la evolución de los modelos
 - La exclusión de variables no cuantificables
 - La validación solamente con el pasado
 - La elaboración excesiva de los modelos (charlatanería matemática)
 - Los errores de interpretación

BRAINSTORMING, BRAINWRITING, DELPHI.

Son perfeccionamientos del grupo de discusión tradicional que tratan de corregir sus defectos y además de adaptarse a la separación espacial de los miembros del grupo. Recordemos los inconvenientes del grupo de discusión:

- (a) La excesiva influencia de algunos miembros (prestigio, oratoria, etc.)
- (b) Presión hacia la conformidad (mayoría, cansancio, temor,...)
- (c) Los temas ajenos o irrelevantes (noticias del día, interés personal,...)
- (d) Los factores psicológicos (susceptibilidades, ansias de relevancia,...)

Obviamente un grupo de discusión tradicional cuenta con la experiencia de sus miembros, lo cual en lenguaje sistémico serían modelos mentales de subsistemas del sistema objeto de estudio. Modelos que serían de tipo cualitativo y muy poco detallados, normalmente. La mayoría de las veces serían modelos de caja negra aunque a veces podrían tratar de determinarse explícitamente las repercusiones en cadena de determinados sucesos y/o acciones:

El **brainstorming** se caracteriza por:

- Elementos: moderador, secretario, pizarra, grupo de expertos.
- Procedimiento:
 - 1ª Fase: el moderador presenta objetivos y método de trabajo. El grupo aporta ideas (en dos o tres palabras y permaneciendo en silencio). El secretario apunta en la pizarra.
 - 2ª Fase: cada idea de la lista (una tras otra) es evaluada con una tabla de pros y contras, seleccionándose la mejor opción según el balance de los mismos.

El **brainwriting** es lo mismo pero por escrito. Caben variantes intermedias.

El **Delphi** es lo mismo pero por correo. Normalmente el proceso se lleva a cabo con cuatro cuestionarios que elabora y analiza el equipo director, cada uno basándose en las respuestas al anterior y ofreciendo además el balance de respuestas de los demás miembros del grupo. Obsérvese que con este método:

- Se obtienen respuestas simultáneas y anónimas, evitándose con ello los inconvenientes (a) y (b).
- Se permite la interacción entre los miembros y el retorno de las conclusiones parciales, evitando el diálogo irrelevante (c) y los problemas derivados del contacto entre las personas (d).

EL METODO DE LOS ESCENARIOS

Tiene su origen en Herman Khan y Norbert Wiener que lo utilizaron en el informe del Hudson Institute de 1967, Lo llamaron "scenarío writing method".

Este método intenta establecer una sucesión lógica de acontecimientos (escenario) con el fin de mostrar cómo a partir de una situación dada o actual es posible evolucionar hacia una situación futura (16). En principio este método no pretende prever el futuro sino mostrar, a modo de simulación experimental, como puede una realidad ser posible a partir de una situación dada, en un contexto dado. Cuenta pues con unas hipótesis de partida. El mismo Kahn avisa centra el riesgo de pensar que tales hipótesis de partida son lo suficientemente correctas como para pensar que los escenarios que se construyen apoyados en ellas van a tener una parte substancial de realidad. Así pues sus inventores presentan este método sólo como "un modo de hacer salir el pensamiento de allí donde se cuece" ilustrando y dramatizando las posibilidades sobre las que aquel se concentra. Además obliga al analista a ocuparse de detalles y aspectos dinámicos que podrían muy bien dejar pasar si se limitasen a hacer consideraciones abstractas.

Una aplicación que perfeccionó determinados aspectos del método fue el estudio Francia 2000 del grupo DATAR, (órgano de la Administración francesa) publicado en 1970. Dejando aparte las hipótesis de partida de este estudio, algunas evidentemente falsas, consideramos qué representó un avance considerable en la puesta a punto del método (17).

El método que sigue Francia-2000 consiste, en síntesis, en lo siguiente:

- 1) Determinar las cuestiones a estudiar.- Considerando a Francia como un sistema, se trata de determinar los elementos del sistema. Esto lo hace por sucesivas divisiones en bloques (sociedad urbana, sociedad rural, sociedad agrícola y sociedad industrial) y sub-bloques (fuerzas de producción, modos de producción, relaciones de producción, instituciones y espacio acondicionado). Y por fin, en cada sub-bloque distingue una serie de elementos, cuestiones a estudiar o "componentes".
- 2) Determinar las relaciones entre las componentes.-Se trata de determinar cómo repercute sobre cada una de ellas lo que les pueda ocurrir a las demás y cómo pueden intervenir en tal mecanismo las estrategias de los "actores", (entes que ejercen algún control sobre el sistema). El modo de llegar a ello es el estudio del pasado de las componentes y de su evolución hasta el presente a través de sucesivos análisis sincrónicos (en unas fechas determinadas) y diacrónicos (entre cada una de esas fechas y la siguiente).

Durante la serie de análisis sincrónicos y diacrónicos del pasado, cuyo objetivo es captar los mecanismos que rigen el funcionamiento del sistema, creando los modelos mentales correspondientes, al tiempo que una base de partida de cara al futuro, procede tratar de detectar:

- Tensiones. Diferencias entre lo existente y lo deseable. Pueden aparecer entre una componente o entre dos o más de ellas. Son puntos de conflicto que hacen necesaria la intervención de los mecanismos reguladores del sistema. Es procedente, cuando una tensión ha sido detectada, investigar cómo ha sido corregida, para de este modo descubrir los mecanismos reguladores y por tanto los actores.
- Tendencias pesadas. El estado de cada componente ha evolucionado con el tiempo. Seguro que ha tenido pequeñas oscilaciones de corta duración. Pero por encima y a pesar de estas pequeñas oscilaciones ha seguido una tendencia a la

que por su gran inercia se llama "pesada". Cuando una tendencia pesada ha sido detectada procede tratar de explicar a qué obedece.

- Mutaciones. Se llama así a la aparición o desaparición de componentes o rupturas de la tendencia pesada que las anima. Se las debe encontrar una explicación.
- Gérmenes de mutación. De la explicación atribuida a determinadas mutaciones observadas debe obtenerse el criterio necesario para detectar lo que puede dar lugar a una mutación en el futuro, si se dan determinadas circunstancias.

3) Como consecuencia de lo anterior se debe de disponer, de una especie de tabla de doble entrada cuyos encabezamientos sean las componentes estudiadas, en su estado actual, y cuyas casillas sean los, impactos, expresados de forma verbal, que unas componentes tienen sobre las otras.

Ahora procede hacer la proyección hacia el futuro. Esta proyección puede hacerse de modo "tendencial" de tal manera que con sucesivos análisis sincrónicos y diacrónicos queda dibujada la tendencia de la evolución del estado de las componentes. Y un análisis, sincrónico sería el estado de las componentes en una fecha Y un análisis diacrónico sería el proceso de acumulación de impactos de todas las componentes sobre cada una de las demás de tal manera que, de resultados de esta acumulación de impactos quede determinado el estado de cada componente al final del período que se está considerando.

4) Esta imagen "tendencial" debe servir de base para aplicar en ella políticas determinadas en los puntos en los que sea necesaria una regulación (tensiones, tendencias pesadas mutaciones y gérmenes de mutación). Aplicando una determinada estrategia, entendida esta como una serie de decisiones o elecciones que tienden al logro de un objetivo, al escenario tendencial se obtiene un escenario "semi-contrastado". Con varias estrategias alternativas se obtendrían varios escenarios semi-contrastados el mejor de los cuales se tomaría como escenario contrastado con la política (objetivo) seguida. Esto se hace así porque el escenario ideal contrastado con determinada política puede no ser alcanzable.

El método parece prometedor si se piensa en tener en cuenta además lo que puede suceder en el universo: exterior al sistema que se considera. Esto no parece muy difícil en principio. Bastaría para ello identificar los elementos del universo exterior que pueden incluir sobre el sistema y hacer hipótesis sobre ellos. Cada combinación entre estas hipótesis daría origen a un escenario tendencial. Y si se desea un mayor detalle en lo que respecta a este Universo exterior se le puede aplicar alguna versión del cross-impact. Nosotros hemos tratado de llevar adelante esta metodología aplicándola a la Comunidad Valenciana y nuestras conclusiones son:

- 1) Los sucesivos análisis sincrónicos y diacrónicos a los que se alude, si se quieren hacer con carácter exhaustivo, son de una laboriosidad tal que resulta desbordante.
- 2) Cuando los impactos entre componentes no se cuantifican sino que se describen verbalmente, siendo además el número de componentes de una cierta cuantía (más de seis), la acumulación de los mismos con ayuda exclusiva de la mente resulta prácticamente imposible. Y si esto falla, todo lo que viene a continuación se queda en el plano teórico por irrealizable.

Está claro que puede no hacerse de modo tan exigente, pero entonces el método se convierte en un puro juego especulativo que solo tiene el valor que le asignaron sus inventores

en un principio, o poco más, a pesar de su mayor laboriosidad.

En realidad, el método puede llevarse a buen término con ayuda de un ordenador, pero en este caso estaríamos hablando del cross-impact multiperíodo con tendencias, que se describe más adelante. Así pues, lo que hace el cross-impact multiperíodo con tendencias es en realidad una construcción de escenarios, solo que con posibilidades de optimización más claras que en la metodología del Francia-2000. Recuérdese que la optimización aquí se basa en la construcción de escenarios semi-contrastados por aplicación de estrategias determinadas sobre un determinado escenario tendencial, para posteriormente seleccionar "el mejor" entre ellos. En el cros-impact los reguladores y las variables objetivo actúan igual que las demás tendencias, gracias a lo cual el ensayo de "políticas" alternativas se hace de modo más claro y rápido.

Una visión ligeramente distinta del método de los escenarios la da Lesourne (1979). Según Lesourne un escenario es una combinación de hipótesis sobre valores futuros de las variables de entrada a un modelo, así como los correspondientes valores de las variables de salida. Describe una posible realidad futura y está destinado a iluminar la acción del presente.

Los escenarios se construyen:

1. Construyendo primero el modelo.
2. Identificando las variables de entrada cuyos valores no se pueden asignar más que como hipótesis.
3. Estableciendo unas pocas hipótesis para cada variable.
4. Dando una probabilidad subjetiva a cada hipótesis.
5. Calculando las probabilidades de las diferentes combinaciones de hipótesis.
6. Corriendo el modelo para el conjunto de las combinaciones de hipótesis más probables (las que, entre todas, abarquen el 90 por 100 de la probabilidad, por ejemplo).

En un principio, se intentó trabajar exclusivamente con modelos mentales ilustrados con descripciones verbales y numéricas de la realidad actual y pasada. La experiencia demuestra que los modelos mentales corren con dificultad si se manejan más de tres o cuatro variables interrelacionadas. No obstante, la construcción de modelos mentales, parte esencial del primitivo método de los escenarios (H. Kahn y el Hudson Institute, y el grupo DATAR francés), puede ser muy útil para adquirir un criterio para evaluar los resultados de los modelos cualitativos y/o cuantitativos computerizados; así como para adquirir el conocimiento suficiente para desarrollar un modelo computerizado.

La adquisición de la "base" para poder construir el modelo se realiza estudiando el pasado y la situación actual de manera:

- (a) detallada y en profundidad en el plano cualitativo y cuantitativo
- (b) global (económica, tecnológica, política, ecológica...)
- (c) dinámica (poniendo en evidencia las tendencias pasadas y los hechos portadores de futuro.
- (d) explicativa de los mecanismos de evolución del sistema.

Con ello se debe haber logrado:

- delimitar el sistema o los elementos pertinentes;
- estructurar el sistema y eventualmente desglosarlo en subsistemas;

- explicar la evolución pasada y el estado actual;
- poner en evidencia los factores de evolución o de estabilidad;
- localizar a los "actores" y sus proyectos en un cuadro estratégico;
- cada actor ha sido relacionado con unos objetivos estratégicos;
- se han evaluado las posibles alianzas y conflictos;
- se han identificado las cuestiones clave para el futuro.

Un modo muy adecuado para establecer las hipótesis que darán lugar a los escenarios es identificar las "dimensiones" o aspectos, del problema y recurrir a análisis morfológico (un árbol de combinaciones posibles). Veámoslo con un ejemplo. El estudio "Interfuturos" (Lesourne, 1979) de prospectiva mundial distingue cuatro dimensiones en el problema:

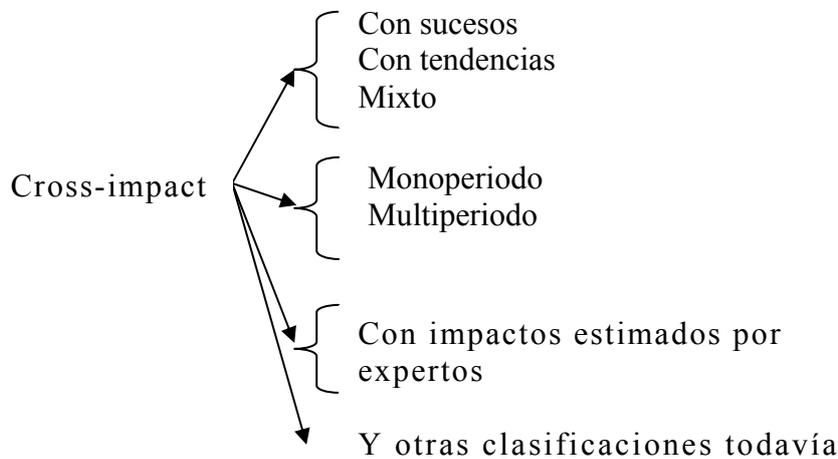
- Relaciones entre países desarrollados, con dos opciones: gestión colegiada o fragmentación parcial entre los polos.
- Dinámica interna de las sociedades desarrolladas, con tres opciones: consenso (crecimiento fuerte), cambios de valores rápidos y crecimiento moderado y conflictos entre grupos sociales y crecimiento moderado.
- Evolución de las productividades relativas, con dos opciones: convergencia y divergencia
- Relaciones Norte-Sur y entre países en vías de desarrollo, con tres opciones: amplio incremento de intercambios, acentuación de las divisiones, y fragmentación del Sur por regiones y conexión con los países desarrollados.

Combinando las opciones de cada dimensión salen 36 escenarios posibles. Interfuturos centra su análisis en algunos de estos escenarios, los más probables ("tendenciales") o los que interesan a algunos de los actores ("contrastados").

Cuando las posibilidades de evolución del problema estudiado se caracterizan por el cumplimiento o no de n hipótesis o "sucesos" fundamentales se obtienen $2n$ escenarios posibles. Asignando una probabilidad simple a cada suceso y estudiando el efecto o impacto que tendría la ocurrencia de cada suceso sobre las probabilidades de los demás se puede llegar a dar una probabilidad a cada escenario y seleccionar los más-probables. El método que se utiliza para ello es el de impactos cruzados (cross-impact).

EL METODO DE LOS IMPACTOS CRUZADOS

Este método surgió cuando en los años 60 se trató de incorporar a los métodos de previsión existentes la posibilidad de que la ocurrencia de un suceso pudiera afectar a la de los que todavía estaban por ocurrir. No obstante, también se pueden estudiar además de "sucesos", "tendencias", es decir, variables cuyo valor evoluciona con el tiempo, y ambas cosas a la vez, si el problema así lo requiere. Asimismo, cabe la posibilidad de dividir el periodo total de tiempo en el que se hace la previsión en varios periodos más cortos y localizar la ocurrencia de los sucesos en uno de ellos. Esto da lugar a las variantes "monoperiodo" y "multiperiodo" del método. El efecto o "impacto" de la ocurrencia de un suceso o de la variación de una tendencia sobre otro u otra se suele determinar por consulta a expertos pero también cabe utilizar el coeficiente de regresión si se dispone de datos numéricos o de una encuesta lo suficientemente amplia. Tenemos, por tanto, las siguientes variantes del método:



Veremos dos casos: el monoperiodo con sucesos y el multiperiodo con tendencias que son los más sencillos.

Cross-impact monoperiodo con sucesos

Consta de las siguientes fases:

1. Determinar los factores que influyen positivamente sobre aquello que nos interesa. Debe resultar que son sucesos (pueden tener lugar o no y son eventos puntuales) todos ellos a tener lugar o no en un periodo único. Esto puede hacerse con un Brainstorming o similar.
2. Determinar el orden de sucesión. Se supone que este orden es único o que es el más probable.

3. Asignar, preguntando a un grupo de expertos y promediando las respuestas, una probabilidad de ocurrencia a cada uno de los sucesos.
4. Determinar la matriz de impactos cruzados. Esto se logra también promediando las respuestas de los expertos a las siguientes preguntas:

- ¿Considera Ud. que la ocurrencia del suceso A influiría sobre la probabilidad del suceso P?
- Caso de influir lo haría ¿positiva o negativamente?
- Y ¿cuánto? Muy poco, poco, regular, mucho o muchísimo. Con ello el impacto I_{AB} quedaría así ponderado entre -5 y +5.

5. Calcular las probabilidades condicionadas simples a partir de las probabilidades simples y de los impactos cruzados. Esto hay varias formas de hacerlo que pueden verse en un artículo de Caselles (1986). Una de ellas es la siguiente :

$$P_{i/j} = P_i + I_{ij} (P_i - d) / 5 \quad \text{cuando } I_{ij} < 0$$

siendo d la mayor de las cotas inferiores de $P_{i/j}$

$$P_{i/j} = P_i + I_{ij} (u - P_i) / 5 \quad \text{cuando } I_{ij} \geq 5$$

siendo u la menor de las cotas superiores de $P_{i/j}$

Respecto de las cotas superiores $P_{i/j} \leq P_i / P_j$ o bien 1

según se deduce de $P_i = P_{i/j} P_j + P_{i/\bar{j}} P_{\bar{j}}$

Y respecto de las cotas inferiores $P_{i/j} \geq 1 + (P_i - 1) / P_j$ o bien 0 según se deduce de $P_i \vee_j = P_i + P_i - P_{i/j} \cdot P_j$

Las probabilidades condicionadas a la "no ocurrencia" se calculan con la relación:

$$P_i = P_{i/j} P_j + P_{i/\bar{j}} P_{\bar{j}}$$

6. Calcular las probabilidades condicionadas múltiples a partir de las probabilidades condicionadas simples y de las probabilidades simples. También hay varios modos de hacer esto. Nosotros (Caselles, 1986) proponemos el siguiente.

$$P_{i/jk} = P_i \cdot P_{i/j} / P_i \cdot P_{i/k} / P_i$$

7. Calcular las probabilidades de los escenarios a partir de las probabilidades simples y de las probabilidades condicionadas.

$$P_{ijklmn} = P_{i/jklmn} \cdot P_{jklmn} = P_{i/jklmn} \cdot P_{j/klmn} \cdot P_{klmn} = \dots = P_{i/jklmn} \cdot P_{j/klmn} \cdot P_{k/lmn} \cdot P_{l/mn} \cdot P_{m/n} \cdot P_n$$

Obsérvese que el orden de sucesión es: primero sucede "n" o no, después "m" después "l", etc.

8. Ordenar de mayor a menor las probabilidades de los escenarios, y estudiar lo que ocurre y no ocurre en los escenarios más probables. De este modo, comparando las frecuencias de los sucesos en los escenarios más probables con las probabilidades simples estimadas inicialmente podremos saber si el efecto de las interacciones entre los sucesos beneficia o perjudica la ocurrencia de cada uno de ellos.

9. Efectuar un análisis de sensibilidad. Este análisis permite determinar cuáles son los sucesos más influyentes en el problema y por tanto los sucesos que habría que tratar de provocar o de bloquear en la medida de lo posible. Para ello hay que calcular la matriz de sensibilidades de unos sucesos respecto de otros, con los totales al margen. Sensibilidad de! suceso "i" respecto del suceso "j" es:

$$S_{ij} = (\Delta P_i / P_i) / (\Delta P_j / P_j) = ((P_{ij} - P_i) / P_i) / ((1 - P_j) / P_j)$$

Cross-impact multiperiodo con tendencias.

Consta de las siguientes fases.

1. Determinar los factores que influyen sobre aquello que nos interesa. Debe resultar que son todos "tendencias" (variables cuyo valor evoluciona con el tiempo). Esto puede hacerse con un Brainstorming o similar.
2. Asignar por procedimientos objetivos (estadísticas) o subjetivos (expertos) un valor inicial a cada tendencia.
3. Estimar un valor máximo absoluto y un valor máximo alcanzable durante la prospección para cada tendencia. También un mínimo absoluto y un mínimo alcanzable.
4. Estimar análogamente (con expertos y promedios) los impactos cruzados entre las tendencias. En el caso que nos ocupa (tendencias) diríamos a los expertos: Considere Ud. que la tendencia A ha llegado a su valor máximo alcanzable previsto. ¿Cómo afecta esto a la tendencia B? Le favorece, le perjudica o le es indiferente. En caso de favorecerle o perjudicarle ¿Cuánto? Muy poco, poco, regular, mucho, o muchísimo.
5. Calcular los valores de las tendencias para el período siguiente acumulando a los del período anterior los que se derivan de los impactos de las demás tendencias.

$$T_i(t+1) = T_i(t) + \sum (I_{ij}/5) \cdot (TM_i - T_i(t)) \cdot (T_j(t) - T_j(t-1)) / (TM_j - T_j(t-1))$$

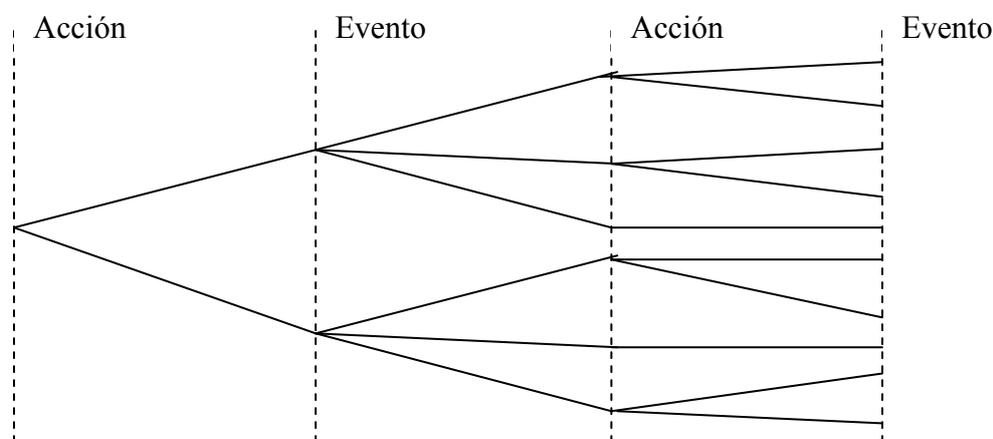
Fórmula válida para impactos positivos, $I_{ij} \geq 0$, e incrementos positivos de la tendencia impactante. TM representa, pues, el respectivo valor máximo alcanzable. Para impactos negativos sustituiríamos $(TM_i - T_i(t))$ por $(T_i(t) - Tm_i)$ siendo Tm_i el valor mínimo alcanzable. Y para disminuciones de la tendencia impactante sustituiríamos $(TM_j - T_j(t-1))$ por $(T_j(t-1) - Tm_j)$.

ÁRBOLES DE DECISION

El concepto de grafos o árboles de relevancia, pertinencia, decisión o confianza (nombres todos ellos utilizados para indicar prácticamente lo mismo) no es nuevo. Parecen ser Churchman y sus colaboradores (30) quienes primero proponen su utilización en contextos industriales generales.

Son antecedentes importantes en su utilización el PPBS ("Planing Prograiming budgeting System") del Ministerio de Defensa U.S.A. que data de 1961, (3) y el sistema PATTERN ("Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Number") de la empresa Honeywell, de 1965 (32). Jantsch (33) y Grof 1 (34) describen esta metodología con ejemplos y bastante detalle. En síntesis consiste en lo siguiente.

1) Tatar de acomodar el planteamiento del problema a una estructura de este estilo:



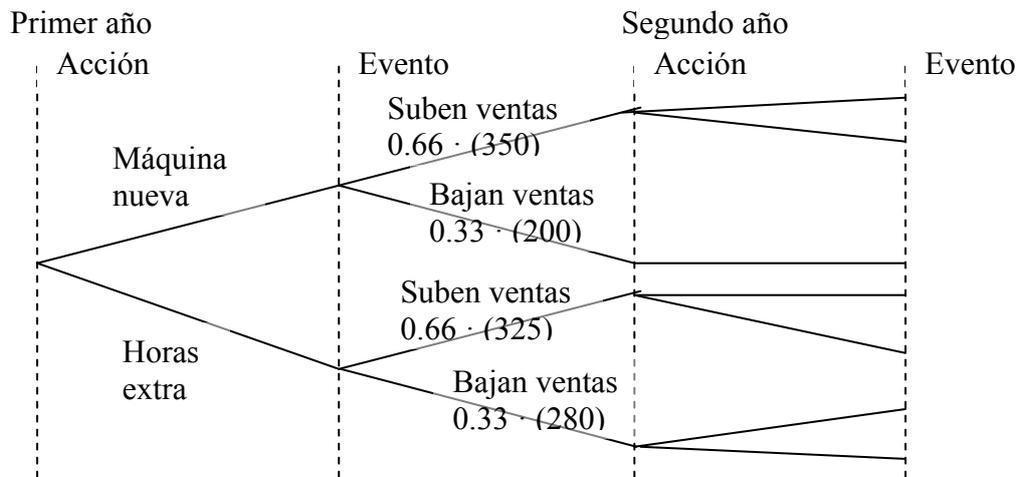
2) Tratar de seleccionar el mejor camino a través de este árbol. Para ello es necesario:

- Dar un nombre a cada acción y a cada evento posible posterior a cada acción.
- Realizar una asignación de ganancias (o pérdidas, o riesgos, etc.) subsecuentes a cada evento y acción predecesora.
- Asignar probabilidades a los eventos.
- Fijar uno o más criterios que permitan el recorrido del camino buscado. Por ejemplo, flujo de fondos esperado máximo, esperanza de ganancia máxima, etc.
- Quizá disponer un cuadro de los utilizados en el análisis multicriterio, para cada decisión, y proceder desde el final hacia el principio en el sentido del tiempo.

Este proceso, cuando el problema no es muy complejo puede seguirse a mano, en otro caso, será necesario construir un programa de ordenador adecuado al mismo.

Ejemplo: En una empresa manufacturera, a la vista del buen estado del mercado, se duda entre comprar una máquina nueva o hacer horas extra. El resultado dependerá de si el mercado continúa como hasta ahora o no. La

probabilidad de que continúe es de 2/3. El árbol, para el primer año, quedaría así:



Y, la esperanza de ganancia sería:

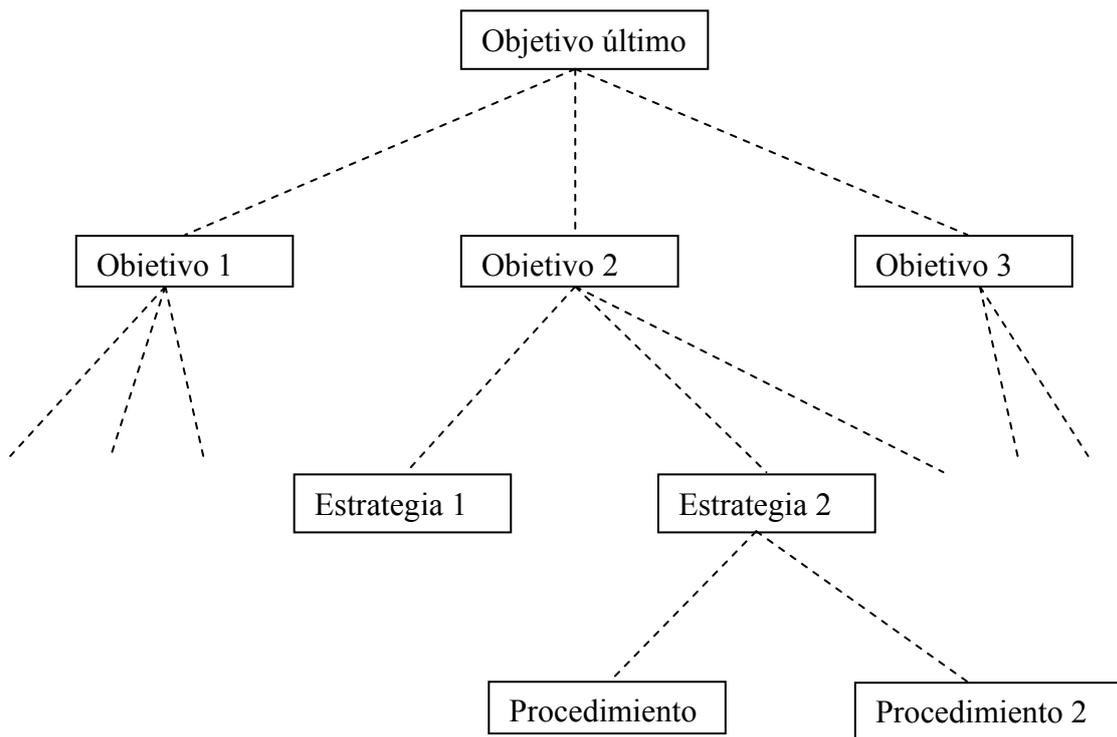
para máquina nueva: $0.667 \cdot 350 + 0.333 \cdot 200 = 300$

y para horas extra: $0.667 \cdot 325 + 0.333 \cdot 280 = 310$

Por consiguiente, interesa hacer horas extra. Para el segundo año y siguientes continúa el proceso.

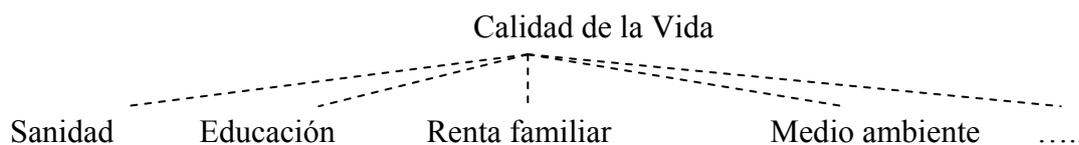
El análisis multicriterio (35) es una de las técnicas que se estudian en la Investigación Operativa, y permite la selección entre varias opciones según varios criterios considerados simultáneamente. No es la única posibilidad con tal fin, en los árboles de decisión. Cabe utilizar otras técnicas de optimización como son la Programación Matemática (lineal, Cuadrática, etc.) y la Programación Dinámica. La Programación Dinámica (36) es un método de optimización que resuelve a la vez problemas interdependientes situados en diferentes etapas. Las decisiones tomadas en una etapa se convierten en las condiciones que gobiernan la siguiente. De este modo puede llegarse a la minimización de los costes de un amplio proyecto que se desarrolle en etapas sucesivas.

La descripción de los árboles de decisión que hemos dado corresponde a su versión más amplia en posibilidades y en complejidad matemática. No obstante, puede quedarse en un procedimiento para examinar ordenadamente las diferentes posibilidades y los factores y circunstancias que afectan a cada una de ellas, y en relación con los diferentes objetivos. Tal es el "Método Morfológico" propuesto por Zwicky (37). En esta línea cabe plantear un árbol genérico que podría ser el siguiente:



No obstante, cada caso particular tendrá su árbol particular que será el que mejor se adapte al estudio que se está haciendo.

Respecto a la posible aplicación de este método a la Ordenación del Territorio, podría iniciarse con un árbol como este:



Nuestra opinión es que el método tiene muchas posibilidades. Y el hecho de que se presente como esencialmente enfocado a la selección entre distintas soluciones para determinados problemas concretos perfectamente localizados en el grafo en relación con otros, lo hace más claro y asimilable para el usuario, aunque su aparato matemático puede llegar a ser tan complicado como el que más.

Ahora bien, cuando la forma de árbol es difícil de conseguir, puesto que las elecciones son múltiples y se observan fenómenos de retroalimentación, la idea se hace difícilmente aplicable. Y esto es lo que suele ocurrir en los sistemas socio-económicos donde las interrelaciones son intrincadas y no se pueden identificar con facilidad las repercusiones de una determinada decisión. No obstante, tal vez en algún enfoque parcial e indicativo pueda tener aplicación.

BIBLIOGRAFIA

- Jantsch, E., 1967, "La Previsión Technologique", OCDE. Paris.
- Sage, A.P., 1977, "Methodology for Large Scale Systems", Mc Graw Hill.
- Godet, M., 1993 "De la anticipación a la acción". Marcombo. Barcelona.
- Fontela, E., 1980, "España en la Becada de los 80", Instituto Nacional de Prospectiva. Madrid.
- Linstone, H.A., y Turoff M., 1975 "The Delphi Method". Addison- Wessley. Reading (Mass).
- DATAR. 1970 "France-2000". Ministère d'aménagement du Territoire. París.
- Groff, G.K., 1974, "Modelos de decisión". Ateneo. Buenos Aires.
- Diputación Foral de Navarra, 1975, "Navarra-2000".
- Caselles, A., 1978 "Un método para la gestión de empresas agrícolas", Tesis doctoral. ETSI. Agrónomos. Valencia.
- Lesourne, S., 1979, "Interfutures", OCDE. París.
- Caselles, A. 1986, "An empirical comparison of cross-impact models for forecasting sales". *Internacional Journal of Forecasting*. 2(1986) 295-303.

Apéndice 4

Métodos numéricos útiles en los modelos dinámicos

En muchas ocasiones nos encontramos con que tenemos una tabla de valores de dos o más variables interrelacionadas y nos gustaría encontrar una ecuación que nos permitiera calcular una de ellas en función de todas o parte de las demás. En estas condiciones, lo primero que debemos tener claro es si existe incertidumbre (ruido o inexactitud en la medida) en los datos o si deseamos considerarlos como exactos. En el primer caso el método a utilizar será el ajuste por mínimos cuadrados (o regresión lineal, simple o múltiple) y en el segundo caso será la interpolación (polinómica, generalmente).

Por otra parte, los modelos dinámicos suelen contener ecuaciones diferenciales o ecuaciones en diferencias finitas y el proceso de simulación con estos modelos implica la integración de estas ecuaciones. Es necesario, por tanto, tener claro el procedimiento de integración de este tipo de funciones.

Destacamos, pues tres métodos numéricos: ajuste por mínimos cuadrados, interpolación, e integración de ecuaciones diferenciales ordinarias.

Ajuste por mínimos cuadrados

El método de Mínimos Cuadrados

- Dada una tabla de n valores (x, y) , se trata de obtener una función $y=f(x)$ con parámetros: $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{p-1}$ de tal manera que:

$$S = \sum_{i=1}^n [f(x_i) - y_i]^2 \rightarrow \min$$

lo cual implica :

$$\frac{\partial S}{\partial a_j} = 0 \quad \text{para} \quad j = 0, 1, 2, \dots, p - 1$$

Antonio Caselles. Universitat de
València. España

64

Ajuste de una recta

$$y = f(x) \quad \rightarrow \quad y = a_0 + a_1 x$$

$$S = (a_0 + a_1 x_1 - y_1)^2 + (a_0 + a_1 x_2 - y_2)^2 + \dots + (a_0 + a_1 x_n - y_n)^2 \rightarrow \min$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 2[(a_0 + a_1 x_1 - y_1) + (a_0 + a_1 x_2 - y_2) + \dots + (a_0 + a_1 x_n - y_n)] \rightarrow 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = 2[(a_0 + a_1 x_1 - y_1)x_1 + (a_0 + a_1 x_2 - y_2)x_2 + \dots + (a_0 + a_1 x_n - y_n)x_n] \rightarrow 0$$

$$n a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n y_i = 0$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i y_i = 0$$

Antonio Caselles. Universitat de
València. España

1

Ajuste de una parábola

$$y = f(x) \quad \rightarrow \quad y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$$

$$S = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 - y_i)^2 \rightarrow \min$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0 \quad ; \quad \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0 \quad ; \quad \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0$$

$$n a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i$$

Antonio Caselles. Universitat de
València. España

66

Ejercicios

- 1. **Ajustar una recta a los datos:**
 x: 1 3 4 6 8 9 11 14
 y: 1 2 4 4 5 7 8 9
- 2. **Ajustar una parábola a los datos:**
 x: -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5
 y: 23 31 39 50 62 76 92 105 122 131 151
- 3. **Ajustar la función $P \cdot V^\gamma = C$ a los datos:**
 x: 54.3 61.8 72.4 88.7 118.6 194.0
 y: 61.2 49.5 37.4 28.4 19.2 10.1

Antonio Caselles. Universitat de València. España

67

Interpolación

Método de Lagrange

- Definición de polinomio interpolador de grado $\leq n$

$f(x)$ definida y continua en $[a, b] \subset \mathbb{R}$

siendo $(x_0, f(x_0)), (x_1, f(x_1)), \dots, (x_n, f(x_n))$, $n+1$ puntos

Polinomio interpolador: $P_n(x) \Leftrightarrow P_n(x_i) = f(x_i); i = 0, 1, \dots, n$

- Fórmula de Lagrange: $P_n(x) = \sum_{k=0}^n f(x_k) \cdot L_k(x)$

ya que

$$L_k(x_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } j = k \\ 0 & \text{si } j \neq k \end{cases}$$

$$L_k(x) = \prod_{i=0; i \neq k}^n \frac{x - x_i}{x_k - x_i}$$

Antonio Caselles. Universitat de València. España

47

Método de Newton

- **Fórmula de Newton:**

$$P_n(x) = y_0 + (x - x_0)y_{(x_0, x_1)} + (x - x_0)(x - x_1)y_{(x_0, x_1, x_2)} + \dots + (x - x_0) \cdots (x - x_{n-1})y_{(x_0, x_1, \dots, x_n)}$$

$$y_{(x_0, x_1)} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad \dots \quad y_{(x_{k-1}, x_k)} = \frac{y_k - y_{k-1}}{x_k - x_{k-1}}$$

$$y_{(x_0, x_1, x_2)} = \frac{y_{(x_1, x_2)} - y_{(x_0, x_1)}}{x_2 - x_0} \quad \dots \quad y_{(x_{k-1}, x_k, x_{k+1})} = \frac{y_{(x_k, x_{k+1})} - y_{(x_{k-1}, x_k)}}{x_{k+1} - x_{k-1}}$$

Etc.

Antonio Caselles. Universitat de València. España

48

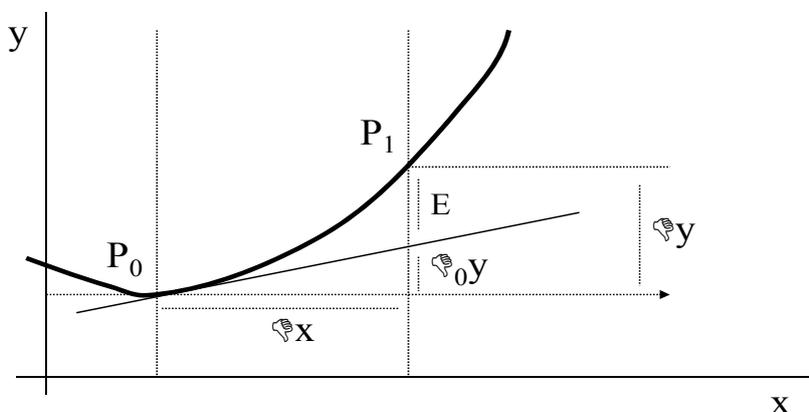
Integración numérica de ecuaciones diferenciales ordinarias

Procedimiento general

Dada $y' = f(x, y)$ con $P_0(x_0, y_0)$

Obtener $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$, ..., $P_n(x_n, y_n)$

Es decir, obtener su integral por puntos con error local = E.



Antonio Caselles. Universitat de València. España

1

Métodos usuales

- **Método de Euler.** $E \leq (\Delta x)^2$

$$x_1 = x_0 + \Delta x \quad ; \quad y_1 = y_0 + \Delta_0 y$$

$$\Delta x \text{ arbitrario } y \text{ cte} \quad ; \quad \Delta_0 y = f(x_0, y_0) \cdot \Delta x$$

- **Método de Runge.** $E \leq (\Delta x)^3$

$$x_1 = x_0 + \Delta x \quad ; \quad y_1 = y_0 + \Delta_1 y$$

$$\Delta x \text{ arbitrario } y \text{ cte} \quad ; \quad \Delta_1 y = f(x_0 + \Delta x / 2, y_0 + \Delta_0 y / 2) \cdot \Delta x$$

Antonio Caselles. Universitat de
València. España

3

Métodos usuales

- **Método de Runge-Simpson.** $E \leq (\Delta x)^4$

Δx arbitrario y cte

$$x_1 = x_0 + \Delta x \quad ; \quad y_1 = y_0 + \frac{1}{6} \Delta_0 y + \frac{2}{3} \Delta_1 y + \frac{1}{6} \Delta_{II} y$$

$$\Delta_0 y = f(x_0, y_0) \cdot \Delta x$$

$$\Delta_1 y = f(x_0 + \Delta x / 2, y_0 + \Delta_0 y / 2) \cdot \Delta x$$

$$\Delta_I y = f(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta_0 y) \cdot \Delta x$$

$$\Delta_{II} y = f(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta_I y / 2) \cdot \Delta x$$

Antonio Caselles. Universitat de
València. España

4

Métodos usuales

- **Método de Kutta.** $E \leq (\Delta x)^5$

$$\Delta x \text{ arbitrario y cte ; } x_1 = x_0 + \Delta x$$

$$y_1 = y_0 + \frac{1}{6} \Delta_0 y + \frac{1}{3} \Delta_1 y + \frac{1}{3} \Delta_2 y + \frac{1}{6} \Delta_3 y$$

$$\Delta_0 y = f(x_0, y_0) \cdot \Delta x$$

$$\Delta_1 y = f(x_0 + \Delta x / 2, y_0 + \Delta_0 y / 2) \cdot \Delta x$$

$$\Delta_2 y = f(x_0 + \Delta x / 2, y_0 + \Delta_1 y / 2) \cdot \Delta x$$

$$\Delta_3 y = f(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta_2 y) \cdot \Delta x$$

Antonio Caselles. Universitat de
València. España

5

Ejercicios

1. $y' = x + y$ con $P_0(0,1)$; $\Delta x = 0.1$
2. $y' = x \cdot y$ con $P_0(1,2)$; $\Delta x = 0.1$
3. $y'' = x + y$ con $P_0(0,1)$; $\Delta x = 0.1$; $y'_0 = 1$
4. $y'' = x \cdot y$ con $P_0(1,2)$; $\Delta x = 0.1$; $y'_0 = 1$
5. $y' = -0.01 \cdot y$ con $P_0(0,1000)$; $\Delta x = 0.1$
6. $y' = 0.1 \cdot y^2 - x y$ con $P_0(0,1)$; $\Delta x = 0.1$
7. $y'' + \frac{y'}{x} + y = 0$ con $P_0(0,1)$; $\Delta x = 0.2$; $y'_0 = 0$
8. $y''' = y$ con $P_0(1,1)$; $\Delta x = 0.1$; $y'_0 = 1$; $y''_0 = 2$

Antonio Caselles. Universitat de
València. España

6

Ejercicios

Método de “reducción canónica”: $y'' = 9y$ se transforma en $\left. \begin{array}{l} y' = z \\ z' = 9y \end{array} \right\}$

$$\left. \begin{array}{l} y' = z \\ z' = 9y \end{array} \right\} \text{ con } P_0 = (1, 1, 1); \quad \Delta x = 0'1; \quad \text{Método de Euler}$$

$$x_0 = 1; \quad y_0 = 1; \quad z_0 = 1;$$

$$\Delta_0 y = f(x_0, y_0, z_0) \cdot \Delta x = 1 \cdot 0'1 = 0'1$$

$$\Delta_0 z = g(x_0, y_0, z_0) \cdot \Delta x = (9 \cdot 1) \cdot 0'1 = 0'9$$

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = x_0 + \Delta x = 1 + 0'1 = 1'1 \\ y_1 = y_0 + \Delta_0 y = 1 + 0'1 = 1'1 \\ z_1 = z_0 + \Delta_0 z = 1 + 0'9 = 1'9 \end{array} \right\} \text{ con lo que } P_1 = (1'1, 1'1, 1'9) \text{ etc.}$$

Antonio Caselles. Universitat de València. España

7

Ejercicios

$y''' = y$ con $P_0(1, 1); y'_0 = 1; y''_0 = 2; \Delta x = 0'1$

$$\left. \begin{array}{l} y' = z \\ z' = u \\ u' = y \end{array} \right\} \text{ con } P_0 = (1, 1, 1, 2); \quad \Delta x = 0'1; \quad \text{Método de Runge}$$

$$x_0 = 1; \quad y_0 = 1; \quad z_0 = 1; \quad u_0 = 2$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_0 y = z_0 \cdot \Delta x = 1 \cdot 0'1 = 0'1 \\ \Delta_0 z = u_0 \cdot \Delta x = 2 \cdot 0'1 = 0'2 \\ \Delta_0 u = y_0 \cdot \Delta x = 1 \cdot 0'1 = 0'1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \Delta_1 y = (z_0 + \Delta_0 z / 2) \cdot \Delta x = (1 + 0'2 / 2) \cdot 0'1 = 0'11 \\ \Delta_1 z = (u_0 + \Delta_0 u / 2) \cdot \Delta x = (2 + 0'1 / 2) \cdot 0'1 = 0'205 \\ \Delta_1 u = (y_0 + \Delta_0 y / 2) \cdot \Delta x = (1 + 0'1 / 2) \cdot 0'1 = 0'105 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = x_0 + \Delta x = 1 + 0'1 = 1'1 \\ y_1 = y_0 + \Delta_1 y = 1 + 0'11 = 1'11 \\ z_1 = z_0 + \Delta_1 z = 1 + 0'205 = 1'205 \\ u_1 = u_0 + \Delta_1 u = 2 + 0'105 = 2'105 \end{array} \right\} \text{ con lo que } P_1 = (1'1, 1'11, 1'205, 2'105) \text{ etc.}$$

Antonio Caselles. Universitat de València. España

8

Apéndice 5

Conceptos y métodos estadísticos útiles en modelos dinámicos

1. MUESTREO DE ATRIBUTOS. DISTRIBUCIÓN BINOMIAL

1.1. CONCEPTOS BÁSICOS.

- Población.- Es el colectivo objeto de estudio. Por ejemplo: el contenido en trigo de un silo, o el número de piezas fabricadas en un día por una máquina determinada.

- Muestra.- Es una porción tomada de la población. Debe ser "representativa", es decir, debe representar fielmente a la población. Esto se consigue tomándola "al azar", es decir, por procedimientos aleatorios. Más adelante veremos esto con más detalle.

- Estimación o inferencia.- Consiste en deducir características de la población a partir de otras análogas en la muestra. Por ejemplo, el promedio de piezas defectuosas.

. Estimación por punto.- Consiste en dar una cifra para el parámetro o característica que se está estimando. Por ejemplo: 2% de defectuosos.

. Estimación por intervalo.- Consiste en dar unos valores máximo y mínimo entre los que se puede encontrar el parámetro que se estima con una frecuencia o probabilidad del 95% o del 99%, u otra. Por ejemplo: el número de defectuosos se encontrará entre el 1,2% y el 2,7% en el 95% de las muestras que tomemos. Esto significa que solamente en 5 de cada 100 muestras que tomemos saldrá un número de defectuosos menor del 1,2% o mayor del 2,7%.

- Atributo.- Característica no susceptible de ser medida. Por ejemplo: la cara o cruz de una moneda.

- Muestreo de atributos.- Registro del número de individuos que poseen el atributo que se estudia. Por ejemplo: Número de caras que salen al lanzar diez veces una moneda.

- Nueva definición de "Población".- Aquel conjunto del cual cada uno de sus miembros tiene una probabilidad conocida de salir en la muestra. Para que un conjunto, por ejemplo, un montón de trigo, pueda ser considerado una población se debe de cumplir una de las siguientes condiciones:

. Debe homogeneizarse mezclándolo adecuadamente. De no ser así, no existe garantía de que la parte de abajo sea como la de arriba o la exterior como la interior.

. Debe encontrarse un procedimiento para tomar la muestra, que rebase el control de quien muestrea. Por ejemplo, un procedimiento mecánico consistente en hacer pasar todo el trigo del montón por un tubo que tuviese un agujero, de tal manera que al final de la operación, por el agujero en cuestión, haya salido la porción considerada como muestra.

- Muestreo estratificado al azar.- Consiste en tomar una muestra de cada una de las clases de individuos que componen la población de modo que el tamaño de cada muestra sea proporcional al de la clase de la que procede.

Por ejemplo: se desea estimar la edad media de la población laboral de una ciudad. Para ello se consulta al 1% de la misma, pero se tiene la precaución de que la parte que corresponde a digamos "fontaneros", sea el 1% de los fontaneros y la que corresponde a "pintores" sea el 1% de los pintores, etc.

- Tamaño de la muestra.- La precisión con que se estima un parámetro depende del tamaño de la muestra que se toma. Por ejemplo: con una muestra pequeña de piezas fabricadas saldría un número de defectuosos comprendido entre 0% y 20% con una probabilidad del 95%. En cambio con una muestra mayor saldría un número de defectuosos comprendido entre 10,3% y 12,7% con el mismo 95% de probabilidad. Existen tablas que relacionan el tamaño de la muestra con la amplitud del intervalo.

- Nivel de significación.- Así se llama al aludido 95% del ejemplo anterior. Y representa la proporción de muestras en la que se cumplirá presumiblemente la estimación que se hace.

- Tabla de números aleatorios.- Es un instrumento que permite sustituir a un bombo con bolas numeradas, dado que ha sido construida con ayuda del mismo (o equivalente). Consiste en diez mil cifras comprendidas entre el cero, 0, y el nueve, 9, dispuestas una a continuación de otra en filas y columnas constituyendo una tabla.

- Muestreo aleatorio a "al azar".- Consiste en tomar la muestra de modo que se esté seguro de que todos y cada uno de los individuos de la población tienen la misma probabilidad de salir en la muestra.

Un modo frecuente de tomar muestras aleatorias es numerando a todos los individuos de la población y sacando números de una tabla de números aleatorios y, modernamente, apretando la tecla RAN de la calculadora de bolsillo.

Tanto en un caso como en el otro se toman números de magnitud equivalente a los que han sido asignados a los individuos de la población. Por ejemplo, si la población tiene 10.000 individuos numerados del 0000 al 9999, está claro que hacen falta cuatro cifras para representar a un individuo. Y así, cuando al apretar la función RAN aparece en la pantalla 0.027651004, tomaremos las cuatro primeras cifras (o cualesquiera otras, pero siempre del mismo modo, para no introducir elecciones personales). Téngase presente que la función RAN da números aleatorios comprendidos entre cero y uno. Por eso aparece el punto decimal.

1.2. PRUEBAS DE HIPÓTESIS CON LA DISTRIBUCIÓN CHI-CUADRADO.

1.2.1. El problema a resolver.

Se tiene una población con varias clases de individuos y una teoría sobre en qué proporción se encuentra cada clase. Se trata de determinar qué probabilidad tiene esa teoría de ser cierta en base al estudio de una muestra. O dicho de otro modo y más rigurosamente, determinar qué probabilidad tendría esa muestra en caso de ser cierta la teoría.

Si tal probabilidad es alta, será lógico pensar que la teoría es buena y digna de aceptarse.

Por ejemplo: se lanza una moneda al aire cien veces y salen 39 caras y 61 cruces. La teoría que se tiene dice que deberían haber salido 50 y 50 en el caso ideal. Cada vez que se lance 100 veces una moneda saldrá una proporción distinta de caras y cruces. Pero ¿cuándo cabe decir que una determinada proporción es anormal? Si se dispone de un criterio para ello se estará en condiciones de afirmar con ciertas garantías que la moneda está trucada o que no, a la vista de una muestra determinada.

1.2.2. χ^2 , un índice de dispersión.

Intuitivamente, χ^2 es una medida de la "distancia" que separa a la muestra obtenida de la muestra ideal que se ajustase exactamente a las proporciones teóricas.

$$\chi^2 = \frac{(\text{Frecuencia real} - \text{Frecuencia teórica})^2}{\text{Frecuencia teórica}}$$

Fórmula que referida al ejemplo de la moneda se aplica como sigue:

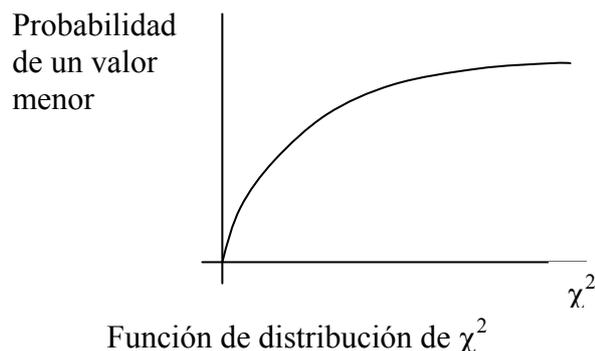
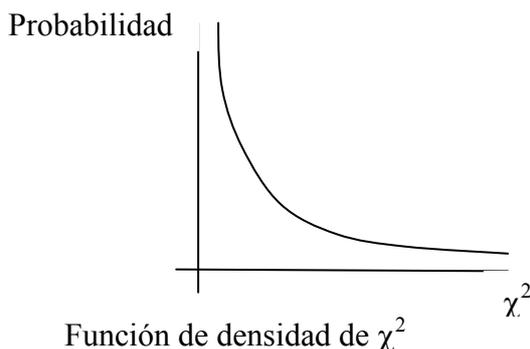
$$\chi^2 = \frac{(39-50)^2}{50} + \frac{(61-50)^2}{50} = 4.84$$

Obsérvese que χ^2 crecerá a medida que sean mayores las diferencias "real - teórico" de las frecuencias de las diferentes clases de individuos. Estas diferencias están al cuadrado para que salgan siempre positivas, y se dividen por la frecuencia teórica para darles un valor relativo, independiente del tamaño de la muestra.

Cada muestra que se obtenga tendrá su χ^2 , de tal modo que si de una población que tenga proporciones reales 50% - 50% de dos clases de individuos se sacan muchas muestras y se calcula el χ^2 de cada una de ellas y se representa en una tabla las veces que se repite cada χ^2 se habrá construido un instrumento de gran utilidad, dado que en la misma estarán en mayor proporción los χ^2 mas "normales" y en menor proporción los mas "raros". Y a la vista de esa tabla podremos catalogar al 4,84 como "normal" o como "raro", concluyendo en este último caso que la proporción teórica probablemente no sea 50% - 50%.

1.2.3. Manejo de las tablas χ^2 .

Las tablas de la distribución χ^2 que se utilizan en la práctica son las acumulativas. En 1.2.2. se ha descrito someramente la tabla de "densidad de probabilidad" que representa la frecuencia o probabilidad con que aparece cada valor de χ^2 . En las tablas acumulativas se representa la "función de distribución", es decir, la frecuencia o probabilidad de un valor menor que el que se considera. Y en algunas, las más prácticas, se representa la frecuencia o probabilidad de un valor mayor que el que se considera.



De este modo, la tabla para dos clases de individuos dice así: Probabilidad de un valor mayor

.900	.750	.500	.250	.100	.050	.025	.010	.005
.02	.10	.45	1.31	2.71	3.84	5.02	6.83	7.88

Buscamos el 4.84 que nos ha salido y vemos (interpolando) que corresponde a una "probabilidad de un valor mayor" de 0,028. Esto significa que si sacamos un número muy alto de muestras (de 100 tiradas) solamente el 2,8% de ellas tendrá un X^2 mayor que 4,84. Así de "raro" es, por consiguiente, ese 4,84 y la muestra de donde procede. Vamos a precisar ahora dos conceptos que hemos utilizado pero no definidos todavía.

1°) Nivel de significación.- Con la moneda del ejemplo anterior hemos probado una hipótesis: la proporción teórica del 50% - 50% de caras y cruces, y nos ha salido que NO, al nivel de significación del 97,2%.

$$97,2 \quad \text{es} \quad 100 - 2,8$$

Nivel de significación es, por consiguiente el porcentaje de veces que, caso de ser cierta la hipótesis que se prueba, saldría un X^2 menor que el obtenido en la muestra.

2°) Grados de libertad.- Es el número de clases de individuos que presenta la población menos uno. En el caso de la moneda tenemos un grado de libertad: dos clases de individuos (cara y cruz) menos uno. Significa que basta con que conozcamos una de las proporciones (la de las caras o la de las cruces), la otra se deduce por diferencia, no es necesario conocerla en principio, viene determinada en función de la otra.

2. MUESTREO DE POBLACIONES CON DISTRIBUCIÓN NORMAL.

Los datos que consideramos ahora ya no son atributos sino características susceptibles de ser medidas. Por ejemplo: estaturas de personas, diámetros de tornillos, etc.

La población objeto de estudio será pues una población de personas, cada una con su estatura, o de tornillos, cada una con su diámetro etc. Esta población tendrá una distribución de frecuencias (veces que se repite cada estatura o diámetro). Y esta distribución podrá ser o no la distribución normal o campana de Gauss. El procedimiento para comprobar si es o no una distribución normal es el explicado en el capítulo anterior: el recurso a X^2 considerando el número **de clases** de individuos igual al número de intervalos fijados en la distribución que se está estudiando. Cuando está claro que estamos ante una distribución normal, lo primero es estimar su media μ y su desviación típica σ .

2.1. ESTIMADORES "POR PUNTO" DE μ Y DE σ

Tomamos una muestra al azar de la población objeto de estudio, y calculamos la media muestral \bar{X} , la amplitud: ($X_{\text{máximo}} - X_{\text{mínimo}}$) y la desviación típica muestral, S . La media poblacional/ μ se estima por la \bar{x} , pero la σ se estima, bien por la s o bien por una fracción de la amplitud dada por unas tablas. La s es un estimador mejor que la fracción de la amplitud y si se dispone de una calculadora que la calcule automáticamente, es sin duda el estimador más adecuado.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \qquad s_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

X_i son los datos.

n es el tamaño de la muestra.

Obsérvese que en el cálculo de s se divide por $n - 1$. Ello se debe a que se puede demostrar que haciéndolo así se estima mejor σ que dividiendo por n .

2.2. ESTIMACIÓN POR INTERVALO DE μ Y DE σ

2.2.1. La distribución "t de Student".

Esta distribución cumple una misión análoga a la χ^2 vista en el capítulo anterior. El parámetro "t" referido a una muestra concreta trata de medir la "distancia" entre la muestra que nos ha salido y la muestra media, para así evaluar la "rareza" o "normalidad" de la muestra obtenida.

Se define así :

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s_{\bar{x}}} \qquad s_{\bar{x}} = s / \sqrt{n}$$

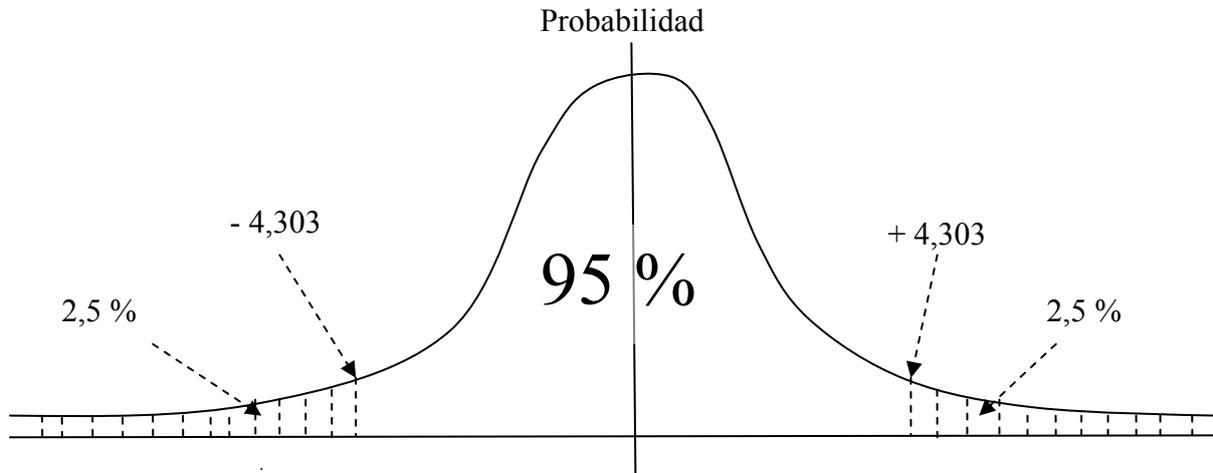
Vemos que "t" es la diferencia entre la media muestral y la media poblacional medida en unidades de $s_{\bar{x}}$. Se puede demostrar que s / \sqrt{n} es la desviación típica de las medias muestrales.

Aclaremos algo esto por si acaso. Imaginemos que sacamos una gran cantidad de muestras. Cada una tiene su media \bar{x} y su desviación típica s . Pero ¿cuál es la desviación típica de todas estas \bar{x} ? Pues precisamente s / \sqrt{n} . Análogamente cada muestra tiene su "t", pero ¿cómo se distribuyen las frecuencias de los valores de t? Pues de una manera muy concreta y reflejada en unas tablas.

De este modo comparando la "t" de nuestra muestra con la de las tablas podremos saber si nuestra muestra es o no "rara", dada las condiciones supuestas.

¿A qué condiciones nos referimos? Veámoslo. Primero la condición de normalidad en la distribución objeto de estudio. Después al valor de μ . Las tablas se hacen para una distribución normal con μ y σ conocidas. En cambio nosotros no conocemos ni μ ni σ . Tenemos que hacer hipótesis sobre ellas. Y estas hipótesis pueden quedar invalidadas por la "rareza" de t.

La curva de la función de densidad de la distribución de "t" es una campana parecida a la normal.



Las tablas de la t suelen ser como sigue:

Grados De Libertad	Probabilidad de un valor mayor ignorando signos							
	.500	.400	.200	.100	.050	.025	.010	.005
1	1.000	1.376	3.078	6.314	12.706	25.452	63.657	
2	.816	1.061	1.886	2.290	4.303	6.205	9.925	14.089

Grados de libertad son aquí el tamaño de la muestra menos uno.

$$g.l. = n - 1$$

¿Cómo se interpreta esto? Veámoslo. Las tablas dicen que, en las condiciones de la hipótesis, y con una muestra de tres mediciones, el 95% de las veces que se saque la muestra saldrá una "t" comprendida entre -4,303 y + 4.303. Esa es la interpretación de: grados de libertad = 2, y probabilidad de un valor mayor = .050, ignorando signos.

2.2.2 Estimación por intervalo de μ

¿Es posible utilizar estos conceptos para estimar por intervalo a μ ? Efectivamente. Obsérvese que si el 95% de las muestras deben dar una t comprendida entre -t.05 y + t.05, podremos escribir:

$$\begin{aligned}
-t_{0.05} &\leq \frac{\bar{x} - \mu}{s_{\bar{x}}} \leq +t_{0.05} \\
-t_{0.05} s_{\bar{x}} &\leq \bar{x} - \mu \leq +t_{0.05} s_{\bar{x}} \\
-\bar{x} - t_{0.05} s_{\bar{x}} &\leq -\mu \leq -\bar{x} + t_{0.05} s_{\bar{x}} \\
\bar{x} + t_{0.05} s_{\bar{x}} &\geq \mu \geq \bar{x} - t_{0.05} s_{\bar{x}} \\
\bar{x} - t_{0.05} s_{\bar{x}} &\leq \mu \leq \bar{x} + t_{0.05} s_{\bar{x}}
\end{aligned}$$

que es una estimación por intervalo de μ al nivel de significación del 95%.

Ejemplo: Medimos tres alumnos elegidos al azar en una clase y obtenemos: 1,68, 1,71, y 1,74 ¿Entre qué valores podemos afirmar que se encontrará la estatura media de la clase con una probabilidad del 95% ?

Calculamos $\bar{x} = 1.71$ $s = 0.03$

$$1.71 - 4.303 * 0.03 / \sqrt{3} \leq \mu \leq 1.71 + 4.303 * 0.03 / \sqrt{3}$$

$$1.635 \leq \mu \leq 1.785$$

2.2.3 Pruebas de hipótesis sobre μ

Sigamos con el ejemplo anterior. Podemos plantearnos ahora la siguiente pregunta: si la media de la clase fuese 1,80 ¿Qué probabilidad tendría la muestra obtenida?

Calculamos:

$$t = \frac{1.71 - 1.80}{\frac{0.03}{\sqrt{3}}} = -5.196$$

Vamos a las tablas con $g.l.=2$ y 5.196 corresponde a una probabilidad de un valor mayor de 0.038. La muestra obtenida tiene una probabilidad de 0,019 por ser t negativa (conocemos el signo). Podemos decir que es una muestra "rara" pues solamente un 3,8% de las muestras darían un t mayor +5,196 o menor que -5,196. Debemos rechazar la hipótesis de $\mu = 1,80$ al nivel de significación del 95% pues 3,8% es menor que 5%. En cambio al nivel de significación del 99% debemos aceptarla pues 3,8% > 1%.

Esta idea sirve de base para el diseño de experimentos que tienen por finalidad probar la existencia de diferencias entre tratamientos dados a una determinada población en estudio.

2.2.3.1. Formación de pares.

Consideremos el siguiente problema: pintar un coche con la pintura A cuesta 800 €. y con la pintura B cuesta 600 € Parece ser que la pintura A tiene mayor duración pero deseamos

asegurarnos de ello. Por otra parte, y en el supuesto de que la tenga, deseamos saber si esta diferencia de duración compensa la diferencia de precio.

Para contestar a estas cuestiones diseñamos el siguiente experimento: pintar 10 coches seleccionados al azar, cada uno de ellos mitad de una pintura y mitad de la otra. Dejarlos rodar y contar el número de meses transcurridos hasta que un determinado criterio indique que la pintura ya está estropeada. El hecho de pintar cada coche con las dos pinturas (mitad izquierda con la A y mitad derecha con la B) tiene por objeto que no se enmascaren los resultados por factores extraños como pueden ser: el que un coche sea de una ciudad y otro de otra con diferente clima, el haber sido utilizado más o menos etc.

Los resultados figuran en la tabla siguiente:

Coche nº	Duración en meses		Diferencia
	Pintura A	Pintura B	
1	55	48	7
2	59	61	-2
3	60	49	11
4	63	51	12
5	75	63	12
6	65	61	4
7	57	53	4
8	59	57	2
9	58	55	3
10	63	51	12

$$\bar{x}_A = 61.4$$

$$\bar{x}_B = 54.9$$

$$\bar{x}_{dif} = 6.5 \quad s = 5.039$$

Vemos que la diferencia media de las duraciones es de 9.0 meses y su desviación típica de 5.637, ambos valores estimados en base a la muestra de 10 coches.

Ahora planteamos la siguiente cuestión: en el caso de que no hubiese diferencia entre ambas pinturas, ¿Que probabilidad tendría la muestra obtenida, con su $\bar{x}_{dif} = 9.0$ meses a favor de la pintura A?

Y para contestar calculamos "t"

$$t = \frac{\bar{x}_{dif} - \mu}{s / \sqrt{n}} = \frac{5.5 - 0}{5.039 / \sqrt{10}} = 4.079$$

y vamos a las tablas, entrando por la fila de 9 grados de libertad (10 menos 1). Vemos lo siguiente:

Grados de libertad	Probabilidad de un valor mayor ignorando signos							
	.400	.200	.100	.050	.025	.010	.005	.001

9 .883 1.383 1.833 2.262 2.634 3.169 3.690 4.781

El valor 4.079 corresponde a una probabilidad de la muestra comprendida entre 0,005 y 0,001, exactamente $p=0,00643$, es decir un 6,43 por mil. En otras palabras : si no existiese diferencia entre las dos pinturas, una muestra como esta (con su $t = 4.079$) saldría unas seis veces de cada mil que hiciésemos el experimento. Como conclusión rechazamos la hipótesis de que no hay diferencia entre la pintura A y la B sabiendo que nos equivocaremos seis veces de cada mil.

La segunda cuestión planteada es si la diferencia de duración compensa la diferencia de coste. Esta diferencia ($800 \text{ €} - 600 \text{ €} = 200 \text{ €}$) representa $1/3$ del coste total de B. Como la duración media de B es de $\bar{x}_B = 54,9$ meses, para ser más rentable la pintura A, debería durar $54,9 \text{ meses} + 1/3 * 54,9$ que son $54,9 + 18,3 = 73,2$ meses.

La diferencia mínima para que se gane dinero pintando con A es de 18,3 meses, y la muestra nos ha dado una diferencia media de 6,5 meses. Ahora nos preguntamos : si existiese esa diferencia de 18,3 entre A y B ¿Que probabilidad tendría la muestra que hemos obtenido?. Calculamos:

$$t = \frac{\bar{x}_{dif} - \mu}{s / \sqrt{n}} = \frac{6.5 - 18.3}{5.039 / \sqrt{10}} = -7.405$$

Vamos a las tablas (9 grados de libertad) y vemos que este valor de t se sale de la tabla, es decir, tiene una probabilidad inferior al uno por mil. Como conclusión, rechazamos la hipótesis de que $n= 18.3$, en otras palabras, que si realmente existiese esa diferencia, la muestra obtenida sería improbableísima. Dicho de otro modo todavía: que es prácticamente seguro que no se gana dinero pintando con A, a pesar de que dura más que B.

2.2.3.2. Formación de grupos.

Consideremos el siguiente problema: somos una gran empresa de transportes y necesitamos saber que motor tiene mayor duración, el motor A o el motor B. En este caso no podemos formar pares como en el caso de la pintura, pues no se puede equipar a un vehículo con los dos motores a la vez. La solución es, de un lote homogéneo (vehículos idénticos) de, por ejemplo, 20 camiones, dotar a 10 de ellos seleccionados al azar del motor A y a los otros 10 del motor B. Dejar rodar a los vehículos hasta que un criterio técnico determine que sus motores están fuera de servicio, y tomar nota de la duración. Los resultados son los de la tabla que sigue:

Motor	Duración en miles de kilómetros										Media	Desv.Tip.
A	351	347	358	321	322	361	356	318	316	337	338.7	18.037
B	305	291	307	301	286	339	351	299	301	331	313.9	22.093

El análisis de estos resultados también podemos efectuarlo con ayuda de la "t" de Student. La "t" es una media muestral menos una media poblacional dividido por la desviación típica de esa media muestral (recuérdese 2.2.1). Pues bien, aquí vamos a considerar como media muestral $\bar{x}_A - \bar{x}_B$, es decir la diferencia de medias. La media poblacional será $\mu_A - \mu_B$. Y el denominador será la desviación típica de la diferencia de medias.

Para ayudar a entender esto imaginemos dos urnas A y B cada una con su μ . Sacamos, con una mano en cada urna, muestras de 10 bolas en cada mano. Calculamos $\bar{x}_A - s^2_A$ de las diez de la derecha, y $\bar{x}_B - s^2_B$ de las diez de la izquierda. Restamos $\bar{x}_A - \bar{x}_B$ y anotamos ese valor. Repetimos la operación 1000 veces. Los valores $\bar{x}_A - \bar{x}_B$ tienen a su vez una media y una desviación típica. Esa desviación típica es lo que hemos llamado desviación típica de la diferencia de medias, $S_{\bar{x}_A - \bar{x}_B}$, y se puede demostrar que se estima por el valor:

$$S_{\bar{x}_A - \bar{x}_B} = \frac{\sqrt{s_A^2 - s_B^2}}{\sqrt{n}} \quad S_{\bar{x}_A - \bar{x}_B} = \sqrt{\frac{s_A^2}{n_1} + \frac{s_B^2}{n_2}}$$

con lo que la fórmula para t queda:

$$t = \frac{(\bar{x}_A - \bar{x}_B) - (\mu_A - \mu_B)}{\sqrt{s_A^2 + s_B^2} / \sqrt{n}}$$

Y aplicándola a este caso concreto:

$$t = \frac{(338.7 - 313.9) - (0)}{\sqrt{(18.037)^2 + (22.093)^2} / \sqrt{10}} = 2.750$$

Considerar $\mu_A - \mu_B = 0$ equivale a probar la hipótesis de que ambos motores duran lo mismo. Es decir, nos preguntamos: si ambos motores, el A y el B, durasen en realidad lo mismo, ¿qué probabilidad tendría la muestra que hemos obtenido? ¿sería una muestra rara? ¿o no?.

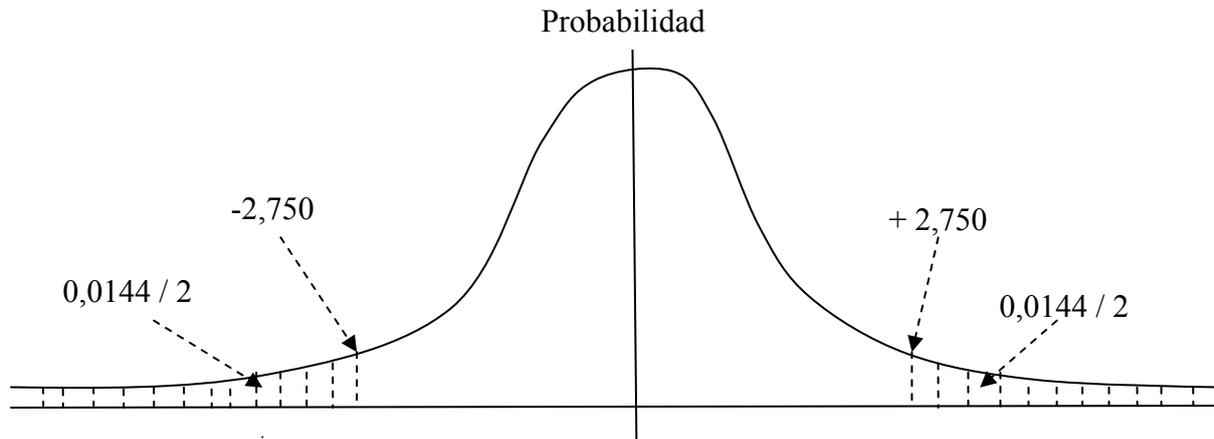
Para contestar nos vamos a la tabla de "t" con 18 grados de libertad (9 + 9), y vemos lo siguiente :

Grados de libertad	Probabilidad de un valor mayor ignorando signos							
	.400	.200	.100	.050	.025	.010	.005	.001
18	.862	1.330	1.734	2.101	2.445	2.878	3.197	3.922

El valor 2.750 corresponde a una probabilidad comprendida entre 0.025 y 0.010, que es exactamente $p=0.0144$, es decir, un 1,44 por ciento.

Esto nos obliga a rechazar la hipótesis $\mu_A - \mu_B = 0$ con lo que diremos que ambos motores tienen una duración distinta y nos equivocaremos 1,44 veces de cada cien. Es decir lo diremos con un grado de seguridad del 98,56%.

Si por razones técnicas tuviésemos la completa seguridad de que el motor A jamás puede durar menos que el B, la hipótesis alternativa a $\mu_A - \mu_B = 0$ ya no podría ser $\mu_A - \mu_B \neq 0$, sino $\mu_A - \mu_B > 0$ con lo que el 0.0144, que representa la suma de las dos áreas rayadas de la curva "t", (recuérdese que dice "probabilidad de un valor mayor, ignorando signos", es decir, probabilidad de un valor mayor que +2.750 o menor que -2.750) ya no representaría la probabilidad de la muestra obtenida, sino su doble.



En estas condiciones, la muestra obtenida todavía resulta, pues, más improbable, y aumenta la seguridad de la afirmación " el motor A dura más que el B", llevándola al 99,325%. Grado de seguridad aquí, es lo mismo que nivel de significación. Aunque cuando se habla de nivel de significación se suele referir uno al 95% o al 99% sin decimales. Así si el "grado de seguridad" sale mayor que 95% se dice que la prueba es significativa al 95% y si es mayor que 99% análogamente.

2.2.4. Pruebas de hipótesis sobre σ .

2.2.4.1 Muestras de poblaciones normales.

Se puede demostrar que el valor $\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\sigma^2}$ obtenido a partir de una población con distribución normal, se distribuye en el muestreo según una χ^2 con n-1 grados de libertad. Esto permite hacer pruebas de hipótesis sobre σ y también estimarla por intervalo. Veámoslo.

$$\chi_{0.975}^2 \leq \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\sigma^2} \leq \chi_{0.025}^2$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\chi_{0.025}^2} \leq \sigma^2 \leq \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\chi_{0.975}^2}$$

Se sospecha que una dieta B para cerdos que se pretende introducir en sustitución de otra A, va a dar lugar a una mayor dispersión en los pesos finales de los cerdos. Como quiera que esto sería un serio inconveniente para B, se pretende comprobarlo mediante una prueba estadística.

El valor de σ para los pesos finales con la dieta A es de 25. Se desea saber si se ha modificado o no con el cambio de dieta. Para ello se toman 20 cerdos seleccionados al azar de entre los que han sido criados con la dieta B y ya han alcanzado el peso final y se pesan. Se calcula el peso medio \bar{x} y la suma de los cuadrados de las diferencias entre cada uno de los pesos finales y su promedio. El resultado resulta ser 21679. Calculamos:

$$\chi^2 = \frac{21679}{25^2} = 34.686$$

Vamos a la tabla de χ^2 con 19 grados de libertad y vemos:

Grados de libertad	Probabilidad de un valor mayor						
	.995	.990025	.010	.005	.001
19	6.84	7.63	...	32.85	36.19		

Con lo que el valor 34,686 corresponde a una probabilidad comprendida entre 0.025 y 0.010, es decir, aproximadamente un dos por ciento. Ello nos obliga a considerar que σ no puede ser 25, con lo que diremos que la desviación típica se ha modificado y nos equivocaremos dos veces de cada cien.

2.2.4.2. Caso de formación de grupos.

En el caso de que exista la sospecha de que el tratamiento dado a cada grupo puede afectar a la varianza es necesario comprobarlo, pues el método expuesto en 2.2.3.2 solo es válido cuando la varianza es la misma.

Para ello se recurre a una nueva distribución: la "F" de Snedecor. Se define así:

$$F = \frac{s^2_{muestral\ mayor}}{s^2_{muestral\ menor}}$$

En el caso de los motores de 2.2.3.2 sería:

$$F = \frac{(22.093)^2}{(18.037)^2} = 1.500$$

Vamos a la tabla de F y vemos que para el 5% (ambos extremos):

Grados de Libertad para La s^2 menor	Grados de libertad para la s^2 mayor			
	2	4	...	9
9	4.03

Esto significa que, si la varianza de la población correspondiente al numerador fuese la misma que la de la población correspondiente al denominador, solo un 5% de las veces que se obtuviesen dos muestras, una de cada población, y se dividiesen sus varianzas (la mayor por la menor) saldría un cociente mayor que 4,03. Como en el caso de los motores $F= 1,500$ es menor que 4,03 concluimos que es un valor bastante probable y por consiguiente las distribuciones de las duraciones de ambos motores tienen la misma varianza.

3. REGRESION LINEAL

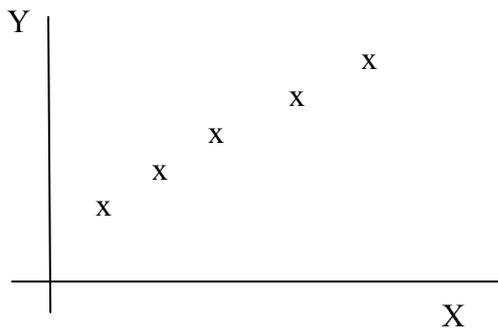
3.1. Objetivos

Se pretende estudiar la relación que puede existir entre dos variables aleatorias X e Y. Concretamente:

- Si existe dependencia entre X e Y.
- Como depende X de Y.
- Con qué fiabilidad se puede predecir Y a partir de X

3.2. Dependencia entre dos variables

En muchos problemas de la vida real surge esta cuestión. Por ejemplo: ¿El peso corporal de los adultos depende de la edad? ¿La velocidad de una reacción química depende de la temperatura?, etc. Normalmente se dispone de un conjunto de observaciones simultáneas que corresponden a una muestra aleatoria de la población que se pretende investigar. Por ejemplo:



X Edad	Y Peso corporal medio (Kg)
30	65
40	72
50	75
60	78
70	83

La idea que surge en este momento es: parece que cuando la edad aumenta el peso también lo hace y se podría ajustar una recta a esos puntos por el método de los mínimos cuadrados.

Se puede demostrar que la recta obtenida por ese procedimiento tiene por ecuación:

$$\hat{Y} - \bar{y} = b(X - \bar{x})$$

siendo

$$b = \frac{\sum (X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})}{\sum (X_i - \bar{x})^2}$$

Es decir, es la recta que pasa por el punto $P(x,y)$ y tiene por pendiente b . \hat{Y} es el valor estimado con la recta de regresión para la variable dependiente Y cuando la variable independiente vale X . Las variables x e y son los valores medios de X e Y respectivamente. La variable b es lo que se llama "coeficiente de regresión" y se suele escribir: $b = (\sum xy) / (\sum x^2)$, donde x e y (minúsculas) son las diferencias respecto de los respectivos promedios, es decir: $x_i = X_i - \bar{x}$; $y_i = Y_i - \bar{y}$.

Para el cálculo manual del coeficiente de regresión y su estimación por intervalo habría que rellenar la siguiente tabla:

	X_i	Y_i	$X_i - \bar{x}$ x	$Y_i - \bar{y}$ y	x^2	xy	\hat{Y}	$d_{y,x}$	$d_{y,x}^2$
	30	65	-20	-9,6	400	192	66,2	-1,2	1,44
	40	72	-10	-2,6	100	26	70,4	1,6	2,56
	50	75	0	0,4	0	0	74,6	0,4	0,16
	60	78	10	3,4	100	34	78,8	-0,8	0,64
	70	83	20	8,4	400	168	83	0	0
Suma	250	373	0	0	1000	420			4,8
Media	50	74,6							

Donde:

$$b = \frac{420}{1000} = 0.42 \quad ; \quad \hat{Y} - 74.6 = 0.42 (X - 50) \quad ; \quad \hat{Y} = 0.42 X + 53.67$$

Ahora surge la pregunta: ¿Podría esta aparente relación entre X e Y deberse al azar?, es decir, si tomáramos otra muestra ¿Podrían razonablemente salir resultados opuestos? El problema se resuelve con una estimación por intervalo o una prueba de hipótesis sobre b. Para ello se utiliza la "t" de Student, que en este caso sería:

$$t = \frac{b - \beta}{s_b}$$

donde b es el coeficiente de regresión calculado a partir de la muestra experimental, β es el valor real correspondiente (que no puede ser conocido), y s_b es la desviación típica de b en el muestreo (la de las diferentes b que se obtendrían con diferentes muestras). Se puede demostrar que:

$$s_b = \frac{s_{y.x}}{\sqrt{\sum x^2}} \quad ; \quad s_{y.x}^2 = \frac{\sum d_{y.x}^2}{n-2} \quad ; \quad d_{y.x} = Y - \hat{Y}$$

Los grados de libertad de la t así calculada son n-2 porque en su cálculo intervienen dos promedios que son \bar{y} y b. En el ejemplo que nos ocupa tendríamos:

$$s_b = \frac{1.26}{\sqrt{1000}} = 0.04 \quad ; \quad s_{y.x}^2 = \frac{4.8}{5-2} = 1.6 \quad ; \quad t = \frac{0.42 - 0}{0.04} = 10.5$$

Este valor de t es para la hipótesis de que no hay ninguna dependencia de la Y respecto de la X. Contrastado con $t = 3.182$ que dan las tablas para 3 grados de libertad y 5% de significación vemos que es improbableísimo que $\beta = 0$. La estimación por intervalo de b, con este nivel de significación (5 %) quedaría:

$$b - t \cdot s_b < \beta \leq b + t \cdot s_b$$

$$0.42 - 3.182 \cdot 0.04 \leq \beta \leq 0.42 + 3.182 \cdot 0.04$$

$$0.293 \leq \beta \leq 0.547$$

con una probabilidad del 95%.

3.3. PREDICCIÓN DE LA Y A PARTIR DE LA X

El problema que queda por resolver es el de la estimación por intervalo de Y a partir de X. Hemos visto que Y nos daba una estimación por punto de Y utilizando la recta de regresión. Podemos estimar por intervalo dos cosas:

- a) El valor medio de Y para un determinado valor de X
- b) El valor de Y para un X tomado al azar.

Ambas se estiman por intervalo con ayuda de la "t" de Student pero con denominadores diferentes.

$$(a) \quad t = \frac{\bar{y}_x - \bar{\mu}_x}{s_{\bar{y}_x}} \qquad (b) \quad t = \frac{y_x - \mu_x}{s_{y_x}}$$

Se puede demostrar que

$$s_{\bar{y}_x} = s_{y_x} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{x^2}{\sum x^2}} \qquad s_{y_x} = s_{y_x} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{x^2}{\sum x^2}}$$

con lo que:

$$(a) \quad \bar{y}_x - t \cdot s_{\bar{y}_x} \leq \bar{\mu}_x \leq \bar{y}_x + t \cdot s_{\bar{y}_x}$$

$$(b) \quad y_x - t \cdot s_{y_x} \leq \mu_x \leq y_x + t \cdot s_{y_x}$$

La t se toma con (n-2) grados de libertad.

Veamos como quedaría esto en un caso práctico. Tenemos una industria textil y queremos estudiar la calidad de los talleres de confección autónomos. Para ello nos interesa determinar, primero si el porcentaje de prendas defectuosas depende del número de prendas que produce cada taller y, en caso de que así sea, poder estimar por intervalo el porcentaje de prendas defectuosas para los talleres que producen 30000 prendas. Para el experimento, seleccionamos al azar 12 talleres, averiguamos su número producción diaria y su % de defectuosas. Los datos figuran en la tabla que sigue, así como los cálculos para llegar a la recta de regresión.

Taller N°	Miles Prendas X_i	% defec. Y_i	$X_i - \bar{x}$ x	$Y_i - \bar{y}$ y	x^2	xy	\hat{Y}	$d_{y.x}$	$d_{y.x}^2$
1	7	60	-12,58	16,33	158,26	-205,43	52,71	7,29	53,19
2	8	56	-11,58	12,33	134,10	-142,78	51,99	4,01	16,09
3	10	51	-9,58	7,33	91,78	-70,22	50,55	0,45	0,20
4	20	49	0,42	5,33	0,18	2,24	43,37	5,63	31,73
5	15	48	-4,58	4,33	20,98	-19,83	46,96	1,04	1,08
6	16	46	-3,58	2,33	12,82	-8,34	46,24	-0,24	0,06
7	19	41	-0,58	-2,67	0,34	1,55	44,09	-3,09	9,52
8	25	40	5,42	-3,67	29,38	-19,89	39,78	0,22	0,05
9	20	37	0,42	-6,67	0,18	-2,80	43,37	-6,37	40,54
10	25	35	5,42	-8,67	29,38	-46,99	39,78	-4,78	22,80
11	30	32	10,42	-11,67	108,58	-121,60	36,18	-4,18	17,50
12	40	29	20,42	-14,67	416,98	-299,56	29,00	0,00	0,00
Suma	235	524	0,04	-0,04	1002,92	-933,67	524,00	0,00	192,77
Media	19,58	43,67	0,00	0,00	83,58	-77,81	43,67	0,00	16,06

$$b = \frac{-933.67}{1002.92} = 0.718 \quad s_{y.x}^2 = \frac{192.77}{1-2} = 19.77$$

$$\hat{Y} = -0.718 * X + 57.736$$

$$s_{\hat{y}_x} = \sqrt{19.77} \sqrt{1/12 + x^2 / 1002.92} = \sqrt{1.6475 + 0.0197 \cdot x^2}$$

Y para los talleres con 30000 prendas: $X = 30$,

$$x = 30 - 19.58 = 10.42$$

$$\hat{Y} = -0.718 * 30 + 57.736 = 36.18 \%$$

$$t \cdot s_{\hat{y}_x} = 2.228 \cdot \sqrt{1.6475 + 0.0197 \cdot 10.42^2} = 4.34 \%$$

$$36.18 - 4.34 \leq \bar{\mu} \leq 36.18 + 4.34$$

$$31.84 \% \leq \bar{\mu} \leq 40.52 \%$$

Este será el porcentaje medio de prendas defectuosas de los talleres con 30000 prendas. Si se deseara estimar el porcentaje de prendas defectuosas de un taller escogido al azar que resultase producir 30000 prendas habría que aplicar la relación (b).

4. CORRELACION

La idea básica de la correlación es similar a la de la regresión, diferenciándose esencialmente en que la correlación persigue llegar a determinar si cuando una variable evoluciona la otra también lo hace o no, mientras que la regresión lo que busca es explicar la evolución de una variable en función de la otra. Podría decirse que en la regresión hay implícita una búsqueda de la causalidad mientras que en la correlación se presupone que ambas variables evolucionan independientemente pero con cierto paralelismo. No obstante, regresión y correlación pueden estudiarse juntas y aplicarse al mismo fenómeno, según veremos, porque la teoría lo permite y la práctica lo aconseja en ocasiones.

Por ejemplo, tomados al marido y a la mujer de cada una de 11 familias elegidas al azar en una población se midió la estatura de ambos. A la vista de la tabla de datos parecía que ambas variables crecían con cierto paralelismo. Es fácil darse cuenta que una de las variables no puede ser en ningún caso causa de la otra. Ante un caso como este nos formulamos dos preguntas: ¿Cómo medir el grado de paralelismo? ¿Podría este aparente paralelismo haberse producido por casualidad, y salir lo contrario en otra muestra? Veamos como contestar a estas preguntas.

Familia número	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Marido X1	170	169	165	166	171	172	174	172	171	165	156
Mujer X2	168	163	161	160	166	163	167	164	161	160	160

Para medir el grado de correlación entre dos variables X_1 y X_2 se utiliza el llamado "coeficiente de correlación" que se define así:

$$r = \frac{\sum x_1 \cdot x_2}{\sqrt{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2)}}$$

Obsérvese que, cuando no hay una relación de tipo causa-efecto clara entre dos variables (y en todos los casos) se podría ajustar una recta de regresión que nos diera x_2 en función de x_1 o bien una recta de regresión que nos diera x_1 en función de x_2 .

Los respectivos coeficientes de regresión serían:

$$b_{21} = \frac{\sum x_1 \cdot x_2}{\sum x_1^2} \quad b_{12} = \frac{\sum x_1 \cdot x_2}{\sum x_2^2}$$

de donde resulta que el coeficiente de correlación es la media geométrica de los dos coeficientes de regresión, es decir:

$$r = \sqrt{b_{21} \cdot b_{12}}$$

En el caso que nos ocupa, compruébese que:

$$n=11; \quad \bar{x}_1 = 168.27; \quad \bar{x}_2 = 163.00; \quad \sum x_1^2 = 256.27; \quad \sum x_2^2 = 89.33; \quad \sum x_1 \cdot x_2 = 98.53$$

$$r = \frac{98.53}{\sqrt{256.27 \cdot 89.33}} = 0.660$$

Se puede demostrar que el coeficiente de correlación varía entre -1 y +1 siendo estos dos valores los de la máxima correlación (positiva: x_1 y x_2 crecen o decrecen a la vez, o negativa: cuando x_1 crece x_2 decrece o viceversa), y correspondiendo el cero a los datos sin ninguna correlación. En el ejemplo que nos ocupa $r = 0.660$ es una correlación positiva y de tipo medio. No obstante surge la pregunta: ¿Podría haber salido así casualmente? Para contestar debemos aprender a hacer pruebas de hipótesis y estimaciones por intervalo de r .

Para ello se puede utilizar la "z" de Fisher. Según demostró Fisher el parámetro z obtenido partir de r por la relación:

$$z = (1/2) * [L(1+r) - L(1-r)] \quad (L = \text{logaritmo neperiano}) \quad (1)$$

se distribuye casi normalmente, con varianza = $1/(n-3)$. Habida cuenta que la Normal es equivalente a la "t" con infinitos grados de libertad, podemos hacer estimaciones por intervalo y pruebas de hipótesis sobre z como en otras ocasiones. Veámoslo.

Para buscar la equivalencia entre la r y la z se suele usar una tabla pero también puede usarse la fórmula anterior a falta de tabla. Para $r = 0.660$ sale un valor de $z = 0.793$, y puesto que $n = 11$, la varianza será: $s^2 = 1/8$ y la desviación típica $s = 1/(2\sqrt{2})$. Como la "t" con

infinitos grados de libertad (o la normal), para un grado de confianza del 95%, es 1.96, una estimación por intervalo con una confianza del 95% de z sería:

$$0.793 - 1.96 * 1/(2\sqrt{2}) \leq z \leq 0.793 + 1.96 * 1/(2\sqrt{2})$$

$$0.100 \leq z \leq 1.486$$

Despejando r de (1) tenemos:
$$r = \frac{e^{2z} - 1}{e^{2z} + 1}$$

Transformando ahora z en r tenemos: $0.099 \leq r \leq 0.903$ intervalo que no incluye al cero. Por consiguiente podemos rechazar la hipótesis de que $r = 0$ a ese nivel de significación.

Para probar otras hipótesis (si se tiene alguna razón para ello) puede usarse la "t" de Student como en otras ocasiones.

5. ANALISIS DE VARIANZA

En 2.2.4.2 vimos como comprobar que dos muestras podían ser consideradas como sacadas de la misma población normal. Imaginemos que tenemos más de dos muestras y que a cada muestra se le ha aplicado un tratamiento distinto, algo parecido al ejemplo de los motores de 2.2.3.2 pero con más de dos motores. El problema ahora es si los tratamientos producen efectos similares o no, y en caso de producirlos, entre qué tratamientos existe diferencia y cuanta.

Para resolverlo vamos a utilizar el siguiente ejemplo: se trata de determinar si cuatro laboratorios: A, B, C, y D, producen diferentes resultados al analizar la pureza de determinado producto químico o no. Para ello se eligen 20 frascos al azar de la cadena de producción y se forman también al azar cuatro lotes de cinco frascos cada uno que se envían a los diferentes laboratorios. Los resultados figuran en la tabla siguiente.

		a = 4 tratamientos o lotes				
% de materia activa		A	B	C	D	
m = 5		49	38	20	26	
repeticiones		35	38	42	32	
o		55	29	26	37	
individuos		31	50	48	44	
por lote		44	54	48	30	
	$\sum X$	214	209	184	169	
	$\sum \bar{X}$	42,8	41,8	36,8	33,8	38,8
	$\sum X^2$	9548	9145	7448	5905	
	$(\sum X)^2 / m$	9159,2	8736,2	6771,2	5712,2	
	$\sum x^2$	388,8	408,8	676,8	192,8	
	s^2	97,2	102,2	169,2	48,2	

Obsérvese que $\sum x^2 = \sum X^2 - (\sum X)^2 / m$

Esta relación se demuestra sin más que desarrollar $\sum x^2 = \sum (X - \bar{x})^2 = \dots$

Obsérvese también que dentro del mismo lote las diferencias entre unos resultados y otros solamente pueden ser debidas al azar. Por otra parte, cuando promediamos los resultados de un determinado lote lo que hacemos es eliminar el efecto del azar.

Supongamos ahora que no hay ninguna diferencia entre los cuatro laboratorios. Los datos obtenidos, tal como están dispuestos nos permiten hacer al menos dos estimaciones de la varianza poblacional:

1) Promediando las varianzas de los lotes (con ello tenemos una estimación mejor del efecto del azar):

$$s^2 = [97.2 + 102.2 + 169.2 + 48.2]/4 = 104.2$$

2) Estimando la varianza de las medias de lotes y considerando que es una estimación de s^2/n (recuérdese el denominador de la "t" de Student), podemos despejar s^2 y tenemos otra estimación de la varianza poblacional (al promediar se elimina el efecto del azar y queda solo el efecto de los tratamientos):

$$s_{\bar{x}} = s / \sqrt{n} \quad ; \quad s_{\bar{x}}^2 = s^2 / n \quad ; \quad s^2 = s_{\bar{x}}^2 \cdot n$$

$$s_{\bar{x}}^2 = [42.8-38.8]^2 + [41.8-38.8]^2 + [36.8-38.8]^2 + [33.8-38.8]^2 / (4-1) = 18$$

$$s^2 = 18 * 5 = 90$$

Ahora, para saber si el efecto de los tratamientos difiere del efecto del azar aplicamos la prueba de la F de Snedecor como en 2.2.4.2, comparando la estimación a partir de las medias de lotes (que no toma en cuenta la variabilidad debida a diferencias entre individuos) con la estimación obtenida promediando las varianzas de los lotes (que toma en cuenta únicamente la variabilidad debida a diferencias entre individuos dentro del mismo lote, es decir, el azar).

$$F = \frac{104.2}{90} = 1.158$$

valor mucho menor que el que da la tabla de la F para 16 g.l. de la varianza estimada mayor y 3 g.l. para la varianza estimada menor y un nivel de significación del 95%, que es $F = 8.69$, lo cual nos indica que, efectivamente, no hay diferencia entre los cuatro laboratorios en cuanto a calidad de los análisis.

5.1. Detección de diferencias significativas entre tratamientos

En el ejemplo anterior no había diferencia entre los tratamientos (los laboratorios) pero, en el caso de que la prueba F hubiese dado positivo ¿Como saber entre qué laboratorios está la diferencia? Para contestar a esta pregunta vamos a presentar un nuevo experimento.

Un agricultor tiene el siguiente problema: duda entre cuatro clases de insecticida para combatir una determinada plaga. Si su grado de eficacia fuese diferente el agricultor se

inclinaria por el más eficaz. Para averiguarlo se rocian seis parcelas seleccionadas al azar con cada uno de los insecticidas y se determina el porcentaje de plantas libres de plaga. Los resultados del experimento aparecen en la tabla siguiente.

		a = 4 tratamientos o lotes				
% de materia activa		A	B	C	D	
m = 6		73	95	91	73	
repeticiones o individuos por lote		66	93	80	65	
		74	85	75	50	
		58	75	65	62	
		96	80	74	53	
$\sum X$		432	503	462	370	
\bar{x}		72	83,83	77,00	61,67	73,625
$\sum X^2$		31966	42549	35936	23196	
$(\sum X)^2 / m$		31104	42168,17	35574,00	22816,67	
$\sum x^2$		862	380,83	362,00	379,33	
s^2		172,4	76,17	72,40	75,87	

1) Promediando las varianzas de los lotes (con ello tenemos una estimación del efecto del azar):

$$s^2 = [172.4 + 76.17 + 72.40 + 75.87]/4 = 99.21$$

2) Estimando la varianza de las medias de lotes y considerando que es una estimación de s^2/n , podemos despejar s^2 y tenemos otra estimación de la varianza poblacional que solo incluye el efecto de los tratamientos):

$$s_x^2 = [72-73.625]^2 + (83.83-73.625)^2 + (77.00-73.625)^2 + (61.67-73.625)^2 / (4-1) = 87.08$$

$$s^2 = 87.08 * 6 = 522.49$$

3) El paso siguiente es calcular:

$$F = \frac{s^2_{mayor}}{s^2_{menor}} = \frac{522.49}{99.21} = 5.27$$

y compararlo con el que dan las tablas para 3 y 20 g.l. y para el grado de confianza que se desee (99% por ejemplo), que es 4.94. Este valor 4.94 sería el máximo admisible por efecto del azar con ese grado de confianza, si no hubiese diferencia entre los insecticidas. Como en nuestro experimento ha salido mayor, deducimos que sí que hay diferencia entre los insecticidas en cuanto al grado de eficacia.

Y ahora viene la respuesta a la pregunta que formulamos al principio de esta sección ¿Entre qué insecticidas está la diferencia? o ¿Qué insecticida es el que interesa usar?

Para responder utilizaremos la prueba de Tukey, que consiste en calcular con ayuda de unas tablas y una fórmula la diferencia máxima admisible por efecto del azar entre las medias de lotes y comparar las que hemos detectado en nuestro experimento con ese valor máximo. Las que resulten mayores serán las diferencias significativas. Las otras podrían deberse al azar. Veámoslo.

Insecticida	\bar{x}	$\bar{x} - 61.67$	$\bar{x} - 72$	$\bar{x} - 77$
B	83.83	22.16	11.83	6.83
C	77	16.33	5	
A	72	10.33		
D	61.67			

Estas son las diferencias detectadas por el experimento, ordenadas de mayor a menor. Tukey demostró que la diferencia máxima aceptable con un grado de confianza del 95% es:

$$D = Q * s_{\bar{x}}$$

donde Q es obtenida de una tabla, la cual para 4 tratamientos (insecticidas) y 20 grados de libertad (del efecto azar) dice que $Q=3.93$. En cuanto a la desviación típica de las medias muestrales, (caso de no haber diferencia entre tratamientos), sabemos que es: $s_{\bar{x}} = s/\sqrt{n}$, que en nuestro caso sería:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{99.21} / \sqrt{6} = 4.07, \text{ con lo que, } D = (3.96)*(4.07) = 16.1$$

Teniendo en cuenta que 99.21 es la varianza del error y 6 son las repeticiones. Como solo hay una diferencia detectada que supere esa cantidad (el 22.16) deducimos que solo es significativa la diferencia entre los insecticidas B y D. Las otras pueden ser debidas al azar. Como conclusión recomendaríamos usar el insecticida B y no usar el D a pesar de que sus diferencias con el D y el A no sean significativas.

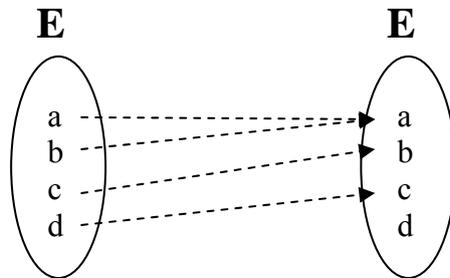
Apéndice 6

Conceptos básicos de la Teoría General de Sistemas

- **Sistema:** conjunto interrelacionado de elementos.
- **Conjunto de elementos:** $E = \{a, b, c, d, \dots, n\}$
- **Manera de definir conjuntos:**
 - Por extensión (uno a uno todos los alumnos de una clase)
 - Por compresión (estudiantes de)
- **Producto cartesiano de dos conjuntos A y B:** conjunto de todas las parejas compuestas por un elemento de A y otro de B. Se representa por $A \times B$. Si A y B coinciden tendremos:

$$E \times E = \{(a,a), (a,b), (a,c), \dots, (n,n)\}$$

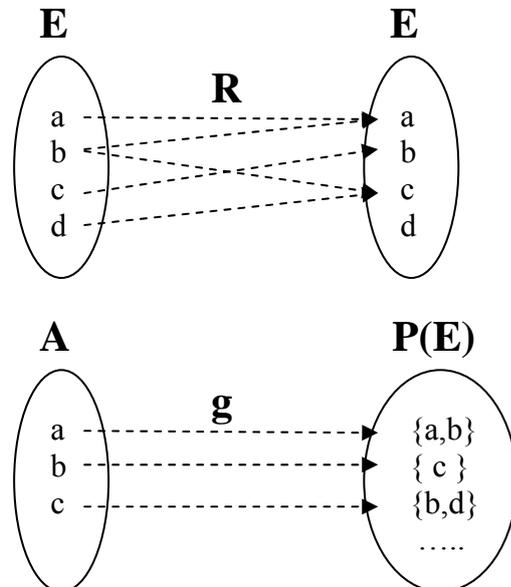
- **Aplicación entre A y B:** Es un subconjunto del producto cartesiano $A \times B$ tal que todos los elementos del conjunto de partida A deben tener una imagen en el conjunto de llegada B. Ejemplo: siendo $E = \{a, b, c, d\}$, $R = \{(a,a), (b,a), (c,b), (d,c)\}$ es una aplicación de E en E, se representa como $R: E \rightarrow E$, y también se escribe: $c = R(d)$.



Estructura: Sistema de Conexiones

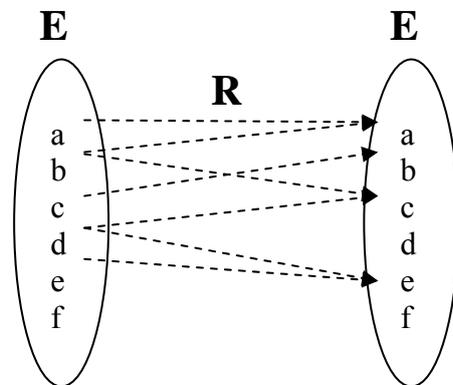
- **Sistema general:** $S=(E,R) ; \emptyset \in R \subseteq P[\cup_{n \in \text{Ord}} E^n]$
- **Conjunto objeto:** E
- **Conjunto de relaciones:** R
- **Relación estructural:** Considera los elementos de E como singulares.
- **Relación comportamental:** Considera los elementos de E como conjuntos.
- **Definición de sistema-estructura:** $S=(E,R) ; R \subseteq (E \times E)$
- **Influencia directa de a sobre b:** $(a,b) \in R$
- **Influencia indirecta de a sobre b:**
 $\exists x_1, x_2, \dots, x_n \in E ; n \in \mathbb{Z}^+ \rightarrow$
 $(a,x_1) \in R \wedge (x_1,x_2) \in R \wedge \dots \wedge (x_n,b) \in R$
- **Aplicación estructural:** g
 $A=\{a:(a \in E) \wedge (\exists x \in E) \wedge (x,a) \in R\}$
 $g:A \rightarrow P(E)$
 $(\forall a \in A) g(a)=\{x: (x \in E) \wedge (x,a) \in R\}$

Ejemplo de aplicación estructural:



- **Elemento de entrada:** x
 $(x \in E) \wedge [(\forall (a,b) \in R) \rightarrow (x \neq b)] \wedge [(\exists c \in E) \rightarrow (x,c) \in R]$
- **Elemento de salida estricta:** y
 $(y \in E) \wedge [(\forall (a,b) \in R) \rightarrow (y \neq a)] \wedge [(\exists c \in E) \rightarrow (c,y) \in R]$
- **Elemento aislado:** z
 $(z \in E) \wedge [(\forall (a,b) \in R) \rightarrow (z \neq a) \wedge (z \neq b)]$
- **Elemento de salida:** u ; $(u \in E) \wedge (\exists x \in E) \wedge (x,u) \in R$
- **Bucle:** A ; $i,j,k,n \in \mathbb{Z}^+$
 $(A \subseteq R) \wedge (A = \{(a,x_1), (x_1,x_2), \dots, (x_i, x_j), (x_j, x_k), \dots, (x_n, a)\})$
- **Estructura jerárquica:** ausencia de bucles \Rightarrow algoritmo
- **Elemento de nivel n:** x
 $(x=en.n) \Leftrightarrow [\exists (a,x) \in R] \wedge [a=en.(n-1)] \wedge [(\forall (b,x) \in R) \wedge (b=en.k) \rightarrow k < n]$

Ejemplo:



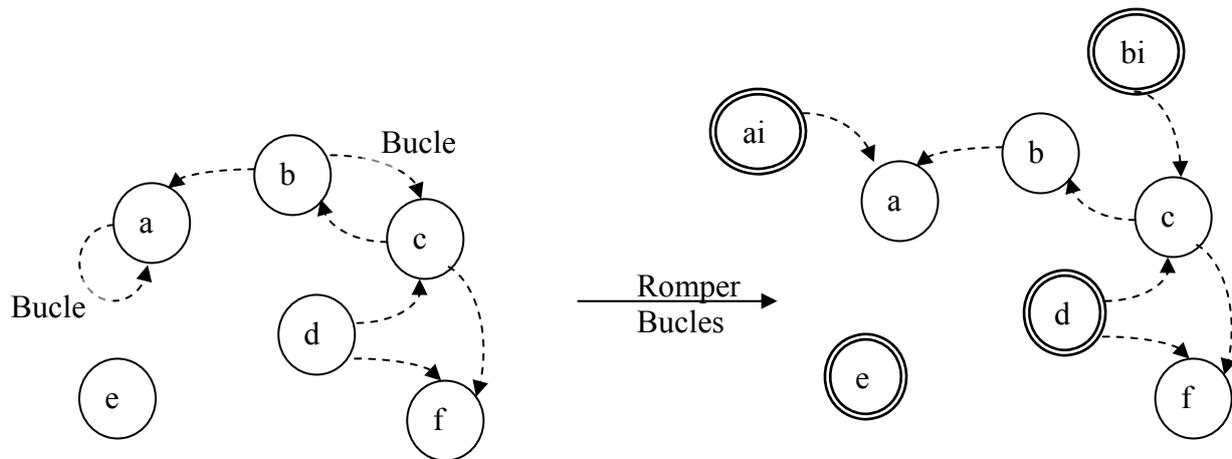
e: elemento aislado (no influye sobre ningún otro y ningún otro influye sobre él)

d: elemento de entrada (influye pero no es influido por otros)

f: elemento de salida estricta (no influye pero sí que es influido)

a, b, c: elementos de salida (influyen y son influidos)

Si hay bucles (retroalimentación), la estructura no es jerárquica. Para convertirla en jerárquica hay que romper los bucles introduciendo variables nuevas. Solo las estructuras jerárquicas dan lugar a algoritmos (conjuntos de operaciones ejecutables por un ordenador o similar).



Nivelación:

Nivel 1: variables de entrada o aisladas: **ai, bi, d, e.**

Nivel 2: variables que solo dependen de las de entrada: **c.**

Nivel 3: variables que dependen de las de nivel 1 y 2: **b, f.**

Nivel 4: variables que dependen de las de nivel 1, 2 y 3: **a.**

La nivelación es necesaria para determinar el orden de cálculo, dado que, solo cuando se conoce el valor de las de nivel inferior se pueden calcular las de nivel superior.

Sistema con Comportamiento

- **Definición** : $S=(E,R)$ donde los elementos de E son conjuntos.
- **Variable**: símbolo x que representa un elemento no determinado de un conjunto D_x .
- **Valor de una variable x** : cualquier elemento de D_x .
- **Dominio de la variable x** : D_x
- **Relación de comportamiento global**: $R \subset D_{x_1} \times D_{x_2} \times \dots \times D_{x_n}$
- **Sistema con comportamiento**: $S=(E,R)$
 $E=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$; $R \subset D_{x_1} \times D_{x_2} \times \dots \times D_{x_n}$
- **Caja Negra**: $S=(E,R)$; $E=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
 $E=X \cup Y$; $X \cap Y = \emptyset$
 $X = \{\text{variables de entrada}\}$; $Y = \{\text{variables de salida}\}$
 $R = \text{relación de comportamiento global}$

Ejemplo:

Dominios de las variables.

$d \in \{3, 2, 1, 4\}$
 $e \in \{2, 4, 6, 5, 1\}$
 $c \in \{3, 2, 1, 5\}$
 $b \in \{2, 4, 6\}$
 $f \in \{1, 10, 20, 30\}$
 $a \in \{5, 15, 25\}$

Relación de comportamiento global.

d	e	c	b	f	a
3	1	2	2	1	5
1	2	3	2	20	5
4	6	5	4	20	25
2	4	1	6	30	15
4	5	1	6	10	15

Sistema Normal

- **Sistema Normal:** $S=(E,R)$; $E=\{x_1,x_2,\dots, x_n\}$; $R=(c,f)$
 $c \subseteq (E \times E)$; $f \subset D_{x_1} \times D_{x_2} \times \dots \times D_{x_n}$
- **Comportamiento de una variable “y”:** By
 $y=g^{-1}(x_1,x_2,\dots, x_k)$; $By \subset D_{x_1} \times D_{x_2} \times \dots \times D_{x_k} \times D_y$
 $y=By(x_1,x_2,\dots, x_k)$; $By : D_{x_1} \times D_{x_2} \times \dots \times D_{x_k} \rightarrow D_y$
- **Sistema Normal con incertidumbre:** $S=(E,c,f)$
 $E=\{x_1,x_2,\dots, x_n\} \wedge [(\exists x_i \in E) \rightarrow x_i = \text{variable aleatoria}]$
- **Sistema realista:** $S=(E,c,h)$; $E=\{x_1,x_2,\dots, x_n\}$; $c \subseteq (E \times E)$
 $h = \{\text{comportamientos de las variables de salida}\}$

Un sistema normal tiene una relación de estructura (producto cartesiano $E \square E$ o diagrama causal) y una relación de comportamiento global (tabla de valores). Un sistema realista tiene una relación de estructura y el conjunto de los comportamientos de las variables de salida, que pueden venir dados en forma de tablas, ecuaciones, algoritmos, etc. Le llamamos realista porque es la forma que se suele presentar en la realidad cuando se construyen modelos matemáticos de sistemas reales.

Sistema Dinámico

- **Dirección de cambio:** Conjunto abstracto, D_i , linealmente ordenado con la relación de orden total \leq , $i \in \mathbb{Z}^+$.
- **Trayectoria:** (A, \leq) ; $A \subseteq T = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$; $n \in \mathbb{Z}^+$
- **Sistema dinámico:** $S=(E,R,\Omega,\rho)$
 $E =$ conjunto de variables
 $R =$ relación de comportamiento global
 $\Omega =$ conjunto de todas las trayectorias sobre T
 $\rho \subset \Omega \times P(R) \wedge [\forall \rho_i \in \rho] \wedge \rho_i = [(A, \leq), B] \Rightarrow \Phi_i : A \rightarrow B$
- **Variable de estado:** y
 y forma parte de un bucle.
 Para todo punto de cualquier trayectoria, el valor de y
 depende directa o indirectamente de y en un punto anterior.
 Normalmente $\exists y \in E \rightarrow y = \text{variable de estado}$

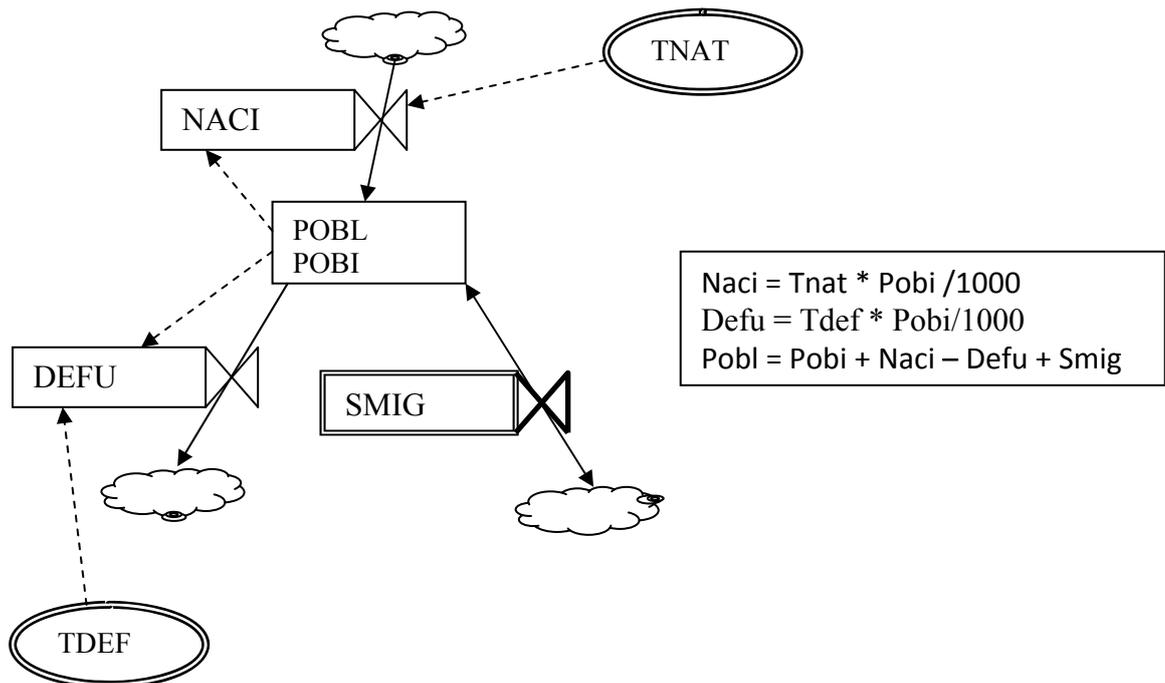
Con mucha frecuencia (casi siempre) nos encontraremos con sistemas dinámicos. La definición clásica de sistema dinámico es aquel que incluye al menos una variable que depende de un valor anterior de ella misma: $x_n = f(x_{n-1})$. Nosotros hemos generalizado esta definición. Así pues, consideramos sistema dinámico aquel en que los valores de las variables cambian con el tiempo, espacio, etc., o cualquier otra variable que cumpla unas determinadas condiciones y a la que llamamos dirección de cambio. Una dirección de cambio es un conjunto de elementos linealmente ordenados con una relación de orden total (siempre sabemos cuál está delante y cuál detrás dados cualesquiera dos puntos del conjunto).

Una trayectoria es un conjunto A con una relación de orden total \leq , siendo el conjunto A un subconjunto del producto cartesiano de los dominios de las direcciones de cambio definidas. Por ejemplo, una trayectoria en el espacio de cuatro dimensiones en el que vivimos (tres direcciones espaciales más el tiempo) sería el conjunto de puntos (sus coordenadas) que recorre una mosca en su vuelo unidos a la hora por la que pasa por cada punto.

Un sistema dinámico está compuesto por un conjunto de variables, una tabla de valores para las mismas, un conjunto de trayectorias en un espacio de n dimensiones y un modo (Φ_i) de asignar a cada punto de cada trayectoria un valor a cada variable. Lo que ocurre es que, generalmente, cuando se especifica ese modo de asignar, Φ_i , se utilizan variables de estado, es decir, variables que forman parte de un bucle, o bien, necesitan tener asociada una variable de memoria que guarde un valor anterior de ella misma (cuando se rompe el bucle).

Ejemplo:

Consideremos el modelo clásico de demografía elemental: Pobl (población a final de año) es una variable de estado y su valor inicial es Pobi (población a principio de año, o final del año anterior). El valor de Pobi es un dato para el primer año, y se actualiza cada año.



Apéndice 7

Ficheros de entrada y de salida de REGINT para el modelo PAREJAS descrito en 2.4.3

Téngase en cuenta que en estos ficheros que:

1. La anchura de cada columna en los ficheros de datos son 14 caracteres.
2. La variable dependiente es la correspondiente a la última columna.
3. El significado de las variables independientes es el siguiente:
PARA Número de parados de larga duración
PEMA Número de personas mayores de 65 años
NORD Número de ordenadores
COEN Consumo de energía
GPRS Gastos de protección social
PIBH Producto interior bruto por habitante
YMED Ingreso medio por hogar
GAST Gasto sanitario
GMED Gasto medio por habitante
CJUG Cantidades invertidas en juegos de azar
4. Las unidades de medida han sido ajustadas para que en la tabla no haya grandes diferencias en orden de magnitud.
5. Asumimos lo siguiente:
 - Dada una tabla de valores representando una función de una o varias variables, se pretende encontrar una ecuación del tipo $Y=f(x_0,x_1,\dots,x_n)$ que explique la tabla de valores de la mejor manera posible.
 - En estas condiciones, REGINT es capaz de encontrar una función del tipo $Y=a+b_1*T_1+b_2*T_2+\dots$ donde, T1, T2, etc. (funciones transformadas) son funciones elementales de x_0, x_1 , etc. (productos, cuadrados, coseno, exponencial, etc.).
 - REGINT además proporciona los datos necesarios para realizar estimaciones por intervalo y simulaciones con la ecuación obtenida, y ofrece la posibilidad de ajustar una función determinada por el usuario entre otros detalles interesantes (exhaustividad o toma de una muestra de funciones, listado total o no, transformadas de segundo orden, etc.)

Contenido del fichero DTDIV.DAT que utilizó REGINT para ajustar la función que calcula la tasa de divorcios TDIV.

PARA	PEMA	NORD	COEN	GPRS	PIBH	YMED	GAST	GMED	CJUG	TDIV
12.826	15.01	8.4	2.3278	1.84583	8.79810	11.3000	06.0503	14.47028	4.84	1.715
13.499	15.71	9.3	2.3525	2.08744	9.44455	12.4000	06.8221	15.57274	4.8991	1.854
17.912	15.73	11.5	2.3176	2.30074	9.74083	13.59759	07.3526	16.00624	4.9024	2.019
21.639	16.23	14.5	2.3766	2.32422	10.33214	14.50337	07.6741	16.55675	4.8689	2.101
21.047	16.59	17.2	2.4797	2.45400	11.35385	15.35286	08.4526	17.15058	4.7409	2.132
20.140	15.54	19.2	2.4807	2.57741	12.00266	16.03547	08.9574	17.41761	4.8250	2.254
18.979	15.68	21.9	2.6204	2.64859	12.73062	16.89524	09.3365	17.55000	5.1624	2.374
16.905	16.20	25.5	2.7863	2.74274	13.58169	18.29033	09.9408	17.73092	5.6310	2.430
13.519	16.75	27.9	2.9019	2.87247	14.52498	18.32642	10.6268	18.33034	5.9236	2.567
11.454	16.99	31.5	3.0190	3.06642	15.65320	21.45367	11.2870	19.86265	6.2411	2.564
07.593	17.11	33.3	3.0539	3.25309	16.71547	20.32878	12.0995	20.87892	6.3940	2.831
07.971	17.38	36.3	3.1162	3.48886	17.65033	21.36015	12.7981	21.32028	6.2579	3.072
08.211	17.42	38.9	3.1550	3.70580	18.62966	21.55100	14.6167	22.07157	6.3630	3.217
07.716	17.69	52.3	3.2375	3.93513	19.67842	22.41800	15.8759	23.34093	6.3916	3.499
05.534	18.41	54.9	3.2664	4.07581	20.86389	23.5000	17.000	25.08595	6.5291	3.7
05.534	18.41	54.9	3.2664	4.07581	20.86389	23.5000	17.000	25.08595	6.5291	3.7

Contenido del fichero DTMAT.DAT que utilizó REGINT para ajustar la función que calcula la tasa de matrimonios TMAT.

PARA	PEMA	NORD	COEN	GPRS	PIBH	YMED	GAST	GMED	TMAT
12.826	15.01	8.4	23.278	18.4583	8.79810	11.3000	6.0503	14.47028	5.59
13.499	15.71	9.3	23.525	20.8744	9.44455	12.4000	6.8221	15.57274	5.16
17.912	15.73	11.5	23.176	23.0074	9.74083	13.59759	7.3526	16.00624	5.10
21.639	16.23	14.5	23.766	23.2422	10.33214	14.50337	7.6741	16.55675	5.11
21.047	16.59	17.2	24.797	24.5400	11.35385	15.35286	8.4526	17.15058	4.93
20.140	15.54	19.2	24.807	25.7741	12.00266	16.03547	8.9574	17.41761	4.98
18.979	15.68	21.9	26.204	26.4859	12.73062	16.89524	9.3365	17.55000	5.23
16.905	16.20	25.5	27.863	27.4274	13.58169	18.29033	9.9408	17.73092	5.24
13.519	16.75	27.9	29.019	28.7247	14.52498	18.32642	10.6268	18.33034	5.42
11.454	16.99	31.5	30.190	30.6642	15.65320	21.45367	11.2870	19.86265	5.17
7.593	17.11	33.3	30.539	32.5309	16.71547	20.32878	12.0995	20.87892	5.19
7.971	17.38	36.3	31.162	34.8886	17.65033	21.36015	12.7981	21.32028	5.14
8.211	17.42	38.9	31.550	37.0580	18.62966	21.55100	14.6167	22.07157	5.15
7.716	17.69	52.3	32.375	39.3513	19.67842	22.41800	15.8759	23.34093	4.88
5.534	18.41	54.9	32.664	40.7581	20.86389	23.5000	17.000	25.08595	4.7

Contenido del fichero TDIV.1 que produjo REGINT al ajustar la función que calcula la tasa de divorcios TDIV.

Caso: TDIV

Identificación: TASA_DE_DIVORCIOS

Variables independientes: 10

Funciones transformadas: 1

Puntos: 16

La variable x1 es PARA

La variable x2 es PEMA

La variable x3 es NORD

La variable x4 es COEN

La variable x5 es GPRS

La variable x6 es PIBH

La variable x7 es YMED

La variable x8 es GAST

La variable x9 es GMED

La variable x10 es CJUG

La variable Y es TDIV

Variables independientes que han sido seleccionadas:

X1 = PARA

X2 = PEMA

X3 = NORD

X4 = COEN

X5 = GPRS

X6 = PIBH

X7 = YMED

X8 = GAST

X9 = GMED

X10 = CJUG

Funciones elementales que han sido seleccionadas:

1. Identidad

2. Inversa

3. $\text{EXP}(.1*X)$

4. $\text{EXP}(-.1*X)$

5. $\text{LOG}(X)$

10. $\text{SQR}(X)$

Grado de confianza para estimar por intervalo los parámetros: 95.000000

El ajuste se ha realizado:

Con las funciones transformadas:

$T1 = \exp(-.1*X5)$

Coefficientes de la ecuación:

Constante = 11.591269

Coefficiente de T1 = -12.030491

Coefficiente de determinación $r^2 = 0.985532$

Coefficiente de correlación múltiple $r = 0.992740$

Error standard de estimación $s = 0.080180$

MATRIZ C

$C(0,0) = 23.606967$

MEDIAS DE LAS TRANSFORMADAS

T1

0.745145

REGRESION $Y=a+b_1*T_1+b_2*T_2+...+b_m*T_m$

a = 11.591269 sa = 0.290978 10.967121 <= a <= 12.215417

b1 = -12.030491 sb1 = 0.389571 -12.866121 <= b1 <= -11.194862

s = 0.080180 s2 = 0.006429 r = 0.992740 r2 = 0.985532

t = 2.145000 gr. libertad = 14 gr. confianza = 95.000000

RESIDUOS

Y estimado	RESIDUO	Y
1.588506	0.126494	1.715000
1.827286	0.026714	1.854000
2.033347	-0.014347	2.019000
2.055762	0.045238	2.101000
2.178715	-0.046715	2.132000
2.294161	-0.040161	2.254000
2.360103	0.013897	2.374000
2.446606	-0.016606	2.430000
2.564474	0.002526	2.567000
2.737862	-0.173862	2.564000
2.901595	-0.070595	2.831000
3.104076	-0.032076	3.072000
3.286214	-0.069214	3.217000
3.474506	0.024494	3.499000
3.587894	0.112106	3.700000
3.587894	0.112106	3.700000

Contenido del fichero TMAT.1 que produjo REGINT al ajustar la función que calcula la tasa de divorcios TMAT.

Caso: TMAT

Identificación: TASA_DE_MATRIMONIOS

Variables independientes: 9

Funciones transformadas: 2

Puntos: 15

La variable x1 es PARA

La variable x2 es PEMA

La variable x3 es NORD

La variable x4 es COEN

La variable x5 es GPRS

La variable x6 es PIBH

La variable x7 es YMED

La variable x8 es GAST

La variable x9 es GMED

La variable Y es TMAT

Coefficiente de determinación mínimo aceptable: 1

Grado de confianza para estimar por intervalo los parámetros: 95.000000

El mejor ajuste se obtiene:

Variables independientes que han sido seleccionadas:

X1 = PARA

X2 = PEMA

X3 = NORD

X4 = COEN

X5 = GPRS

X6 = PIBH

X7 = YMED

X8 = GAST

X9 = GMED

Funciones elementales que han sido seleccionadas:

1. Identidad
2. Inversa
3. EXP(0.100000*X)
4. EXP(-0.100000*X)
5. LOG(X)
6. COS(0.750000 ciclos X)
7. SEN(0.750000 ciclos X)
10. SQR(X)

(Se analizan todas las funciones posibles)

Con las funciones transformadas:

$$T1 = X4 * X6$$

$$T2 = \text{sqr}(X9)$$

Coefficientes de la ecuación:

$$\text{Constante} = 1.560639858531340e+001$$

$$\text{Coeficiente de } T1 = 5.676054183811840e-003$$

$$\text{Coeficiente de } T2 = -2.945479120065560e+000$$

$$\text{Coeficiente de determinación } r^2 = 0.877583$$

$$\text{Coeficiente de correlación múltiple } r = 0.936794$$

$$\text{Error standard de estimación } s = 0.080517$$

MATRIZ C

$$C(0,0) = 0.000094296810$$

$$C(0,1) = -0.043011114874$$

$$C(1,0) = -0.043011114874$$

$$C(1,1) = 20.206693726304$$

MEDIAS DE LAS TRANSFORMADAS

T1 T2

$$403.368005 \quad 4.333173$$

REGRESION $Y = a + b1 * T1 + b2 * T2 + \dots + bm * Tm$

$$a = 15.606399 \quad sa = 1.258902 \quad 12.863250 \leq a \leq 18.349547$$

$$b1 = 0.005676 \quad sb1 = 0.000782 \quad 0.003972 \leq b1 \leq 0.007380$$

$$b2 = -2.945479 \quad sb2 = 0.361937 \quad -3.734140 \leq b2 \leq -2.156818$$

$$s = 0.080517 \quad s2 = 0.006483 \quad r = 0.936794 \quad r^2 = 0.877583$$

$$t = 2.179000 \quad \text{gr. libertad} = 12 \quad \text{gr. confianza} = 95.000000$$

RESIDUOS

Y estimado	RESIDUO	Y
5.564317	0.025683	5.590000
5.243980	-0.083980	5.160000
5.103574	-0.003574	5.100000
5.015024	0.094976	5.110000
5.006254	-0.076254	4.930000
5.003660	-0.023660	4.980000
5.160478	0.069522	5.230000
5.351516	-0.111516	5.240000
5.388099	0.031901	5.420000
5.161458	0.008542	5.170000
5.044963	0.145037	5.190000
5.127917	0.012083	5.140000
5.104613	0.045387	5.150000
4.992218	-0.112218	4.880000
4.721928	-0.021928	4.700000

$$\text{Coeficiente de determinación } R^2 = 0.877583$$

Apéndice 8

Entradas por pantalla y fichero de salida de EXTRAPOL para la tasa de natalidad TNAT en el modelo PAREJAS descrito en 2.4.3

Contenido del fichero de datos para REGINT que se llamará DTNAT.txt

Año	TNAT
1991	10.17
1992	10.16
1993	9.84
1994	9.42
1995	9.23
1996	9.19
1997	9.32
1998	9.19
1999	9.52
2000	9.88
2001	9.98
2002	10.14
2003	10.52
2004	10.65
2005	10.75

Contenido del fichero de salida de REGINT que se llamará TNAT1.txt

```
Caso: tnat
Identificación: tasa_de_natalidad_2t
Variables independientes: 1
Funciones transformadas: 2
Puntos: 15
La variable x1 es X1
La variable Y es Y
Coeficiente de determinación mínimo aceptable: 1
Grado de confianza para estimar por intervalo los parámetros:
95.000000
El mejor ajuste se obtiene:
Variables independientes que han sido seleccionadas:
X1 = X1
Funciones elementales que han sido seleccionadas:
1. Identidad
2. Inversa
```

- 3. EXP(0.100000*X)
- 4. EXP(-0.100000*X)
- 5. LOG(X)
- 10. SQR(X)

(Se analizan todas las funciones posibles)

Con las funciones transformadas:

$$T1 = X1 * X1$$

$$T2 = \exp(0.100000*X1)$$

Coefficientes de la ecuación:

$$\text{Constante} = 1.743494578214888e+001$$

$$\text{Coeficiente de } T1 = 9.862427162255570e-002$$

$$\text{Coeficiente de } T2 = -6.446550161785034e+000$$

Coeficiente de determinación $r^2 = 0.943902$

Coeficiente de correlación múltiple $r = 0.971546$

Error standard de estimación $s = 0.137202$

MATRIZ C

$$C(0,0) = 0.004546066864$$

$$C(0,1) = -0.311982737158$$

$$C(1,0) = -0.311982737158$$

$$C(1,1) = 21.472735164587$$

MEDIAS DE LAS TRANSFORMADAS

T1

T2

82.666667

2.439116

REGRESION $Y = a + b1*T1 + b2*T2 + \dots + bm*Tm$

$$a = 17.434946 \quad sa = 0.788982 \quad 15.715755 \leq a \leq 19.154137$$

$$b1 = 0.098624 \quad sb1 = 0.009251 \quad 0.078467 \leq b1 \leq 0.118782$$

$$b2 = -6.446550 \quad sb2 = 0.635774 \quad -7.831902 \leq b2 \leq -$$

5.061198

$$s = 0.137202$$

$$s2 = 0.018824$$

$$r = 0.971546$$

$$r2 =$$

0.943902

$$t = 2.179000$$

$$\text{gr. libertad} = 12$$

$$\text{gr. confianza} =$$

95.000000

RESIDUOS

Y estimado	RESIDUO	Y
10.409030	-0.239030	10.170000
9.955609	0.204391	10.160000
9.620632	0.219368	9.840000
9.395811	0.024189	9.420000
9.271988	-0.041988	9.230000
9.239039	-0.049039	9.190000
9.285777	0.034223	9.320000
9.399838	-0.209838	9.190000
9.567557	-0.047557	9.520000
9.773833	0.106167	9.880000
10.001976	-0.021976	9.980000
10.233541	-0.093541	10.140000
10.448143	0.071857	10.520000
10.623253	0.026747	10.650000
10.733973	0.016027	10.750000

Coeficiente de determinación $R^2 = 0.943902$

Entradas por pantalla de EXTRAPOL para extrapolar 5 puntos con su intervalo de confianza con la función previamente ajustada con REGINT

PREGUNTA	RESPUESTA
Nombre del problema (hasta 7 caracteres)	TNAT
EL FICHERO DE DATOS DE DEBE LLAMAR DTNAT.TXT Primera fila: año o periodo NUMERO (siempre 14 caracteres por columna incluidos espacios en blanco) Resto filas: 1 el primero de la serie 2 el segundo de la serie Etc. etc.	
¿CUÁNTOS PUNTOS DESEA EXTRAPOLAR?	5
¿GRADO DE CONFIANZA? (%) (90 / 95 / 99 / Otro) Si contesta con un valor distinto de 90, 95 ó 99 o si su tabla de datos tiene más de 32 puntos tendrá que introducir posteriormente la t de Student correspondiente	95
Introduzca los coeficientes b0 a b20 de la función a extrapolar previamente obtenida por ajuste de la serie a la sucesión: 1, 2, 3, $F(X) = b_0 + b_1 * X^{b_2} + b_3 * X^{b_4} + b_5 * \exp(b_6 * X) + b_7 * \log(X + b_8) + b_9 * \cos(b_{10} * X + b_{11}) + b_{12} * \cos(b_{13} * X + b_{14}) + b_{15} * X / (b_{16} + X) + b_{17} * \exp(b_{18} * X) / (1 + b_{19} * \exp(b_{20} * X))$	
b0 ?	1,743494578214888e+001
b1 ?	1,743494578214888e+001
b2 ?	2
b3 ?	0
b4 ?	0
b5 ?	-6,446550161785034e+000
b6 ?	0,1
Resto hasta b20 ?	0
¿Año o periodo inicial? (el primero de datos)	1991
En el fichero ETNAT tiene los resultados	

Contenido del Fichero de Salida de EXTRAPOL que se llamará ETNAT.txt

Se extrapolan 5 puntos

El grado de confianza de los intervalos es: 95 %

El valor considerado para la t de Student es: 2,16

El número de puntos considerado es: 15

$$F(X) = 17.4349457821489 + 9.86242716225557E-02 * X^{(2)} + 0 * X^{(0)} + 6.44655016178503 * \exp(.1 * X) + 0 * \log(X+0) + 0 * \cos(0 * X+0) + 0 * \cos(0 * X+0) + 0 * X / (0+X) + 0 * \exp(0 * X) / (1+0 * \exp(0 * X))$$

Recta de regresion: $Y = 1,000000000000036 F(X) + -3,5491609651217E-12$

Año o periodo	TENDENCIA	MINIMO	MAXIMO
1991	10,17		
1992	10,16		
1993	9,84		
1994	9,42		
1995	9,23		
1996	9,19		
1997	9,32		
1998	9,19		
1999	9,52		
2000	9,88		
2001	9,98		
2002	10,14		
2003	10,52		
2004	10,65		
2005	10,75		
2006	10,7527873407126	10,4313527525216	11,0742219289036
2007	10,649283837326	10,3336502909297	10,9649173837223
2008	10,3898539474034	10,0859302092903	10,6937776855165
2009	9,93735393933843	9,64309799464345	10,2316098840334
2010	9,25073364117086	8,94333585425644	9,55813142808528

Capacitando al Usuario, una materia pendiente. Recomendaciones para la transferencia de modelos de simulación a nivel de usuario.

Dra. Nancy Romea de Nudelman

El presente capítulo forma parte de una investigación más amplia, la cual está aun en desarrollo. El objeto de la misma es realizar un primer acercamiento al usuario a quien se debe transferir el tema Modelos de Simulación a Nivel de Usuario.

1.- Descripción del Estudio

La actual sociedad de la información pone al servicio del desarrollo humano modernas tecnologías de información y comunicación. Cuyo mayor valor en el plano del presente trabajo, es el generar la cultura del aprender vinculada al ordenador. Además de establecer la necesidad de actualizarse en estos tiempos.

La investigación que se está generando proyecta localizar los obstáculos e impedimentos de los usuarios para el aprendizaje de la producción de Modelos. Actualmente no contamos aun con estos datos, de manera que acercamos sugerencias de abordaje en la capacitación y sintetizamos resultados del registro Consultoras y Municipios en el Periodo de Pasantía en Valencia (enero 2009).

1.1.- Experiencias recogidas durante la Pasantía.

1.1.1. Consultora “TLP Consulting” dirigida por Enrique Riera, Andrés Parreño Patón y Asociados.

Descripción de una experiencia relatada.

La consultora nos transmite su experiencia planteada en varios proyectos llevados a cabo con Municipios, el principal se denomina: “Modelo de simulación de Gestión y Selección de Inversiones Municipales”. Los destinatarios finales del proyecto han sido el Gobierno municipal y el ciudadano.

La Metodología aplicada se conoce con el nombre de *gestión por procesos*. La enunciada metodología, comprendía en su diversas etapas: Información; consulta expertos; estudio económico; análisis multivariante, modelo optimizador, conclusiones y estrategias.

Los productos finales logrados durante la aplicación de la misma, se mencionan a continuación:

- Medir los recursos que quedan comprometidos y afectan por lo tanto a los presupuestos de años sucesivos.

- Obtener la relación satisfacción/coste de aquellas actividades que la población percibe de una forma directa.
- Sugerir el paquete ordenado de actividades percibidas por la población que respetando el presupuesto se ajusta a lo requerido por el usuario.
- Ofrecer una simulación de escenarios futuros en función de la modificación de los parámetros esenciales dando cuenta de su repercusión y efectos a través de un análisis de sensibilidad.
- Apoyar el proceso de formulación del presupuesto anual convencional en los Municipios.

Conclusiones metodológicas:

De lo esbozado anteriormente, se puede deducir que la aplicación de un Modelo de Simulación puede implicar un aporte muy interesante para las instituciones, en tanto se disponga de datos que la realidad nos arroje; leída y traducida a números por un experto. Caso contrario, los resultados no serán validados por la comunidad en la cual se quiere plasmar la experiencia.

De modo que si la información pertenece al entorno en el cual se plantea a posteriori, el resultado se transforma en una mejora, experiencia interpretada como aceptable por el Ayuntamiento.

Otro aspecto interesante es el registro mediante encuesta de la recogida de opinión de los ciudadanos, la misma ha sido acompañada por un informe publicado. Condición demandada al experto, la circulación de resultados.

Establezco la idea, que una vez concluida la formación, continúen los vínculos con los capacitadores, para que al variar el problema y convertir nuevas realidades, se agencien asesoramiento prestamente.

La concreción del Modelo y su aplicación a las necesidades concretas del usuario es a criterio del experto el mayor merito.

1.2.- Sugerencias para la intervención con el Usuario

La propuesta está ajustada en Transferencia de innovación tecnología y desarrollo de capacidades para la comprensión por parte del usuario.

1.2.1.- Primer aspecto: Capacitación.

Pensamos que la capacitación debe ser entendida como proceso de generación de conocimiento. A partir de este marco hemos pensado las estrategias que consideramos apropiadas para este logro.

La capacitación genera espacios de libertad y progreso para los implicados en los mismos.

En casi todas las experiencias, el aprendizaje alcanzado, en estas instancias moviliza estrategias personales para poder seguir aprendiendo.

El acceder a tecnologías cada vez más complejas es una necesidad de renovarse en estos tiempos, pero el enardecimiento por ganarlas no siempre se conquista en las capacitaciones.

1.2.2.- La comunicación y las condiciones para el aprendizaje.

“La comunicación es una operación que pone en relación a los sujetos humanos, y consiste en hacer pasar un conocimiento, una información o una emoción de unos a otros, es decir, realizar un intercambio de significaciones” (Paul Grieger).

Es substancial reconocer los principales obstáculos que originan diversos bloqueos o interferencias en la comunicación.

Algunos de tales obstáculos podrían tener su origen en:

- Modos de presión de la opinión pública.
- La similitud o diferencia en las posiciones sociales de que gozan los usuarios; los marcos de referencias de los individuos reunidos (por jerarquización, obligación a los fines de promocionar etc.
- La satisfacción de ciertos anhelos personales que exigen la presencia de los demás: deseo de prestigio, reconocimiento y aceptación; la necesidad de expresar los propios pensamientos y sentimientos.

1.2.3. Condiciones requeridas para las instituciones o Municipio.

Las instituciones y/ o Municipios que pretendan aplicar estos sistemas deberían reunir una serie de requisitos:

- Es importante la toma de decisión y el compromiso institucional con la Ejecución de Modelos de Simulación por ordenador. Especialmente la medición de las consecuencias del mismo.
- Previsión para la promoción laboral y/o mejora económica de los usuarios luego de la implementación del modelo.
- La preparación de los procedimientos para la capacitación, entre las fases más importantes están:
 - a.- Formular los contenidos: basándose en el diagnóstico realizado sobre usuarios, se adaptara el contenido del curso a la realidad. Considerando la utilización de herramienta como las posibles aplicaciones.
 - b.- Publicitar y difundir: ofertar el curso a posibles destinatarios del Municipio, instituciones, empresas a través de medios de comunicación (TV, Radio, etc.)
 - c.- Impartición del curso: la averiguación de los capacitadores que congreguen los requisitos, el perfil establecido y conozcan los Programas que el Municipio quiere cultivar.
 - d.- Evaluación: al finalizar el Curso, los asistentes podrían disponer de una ficha evaluativo en la que reflejar la valoración en distintos aspectos de la formación.

1.3.- Recomendaciones para la transferencia de Programas Informáticos.

1.3.1.- Trabajo Grupal.

Es conveniente que las capacitaciones se organicen con grupos pequeños a los fines de contar con un aprendizaje personalizado para optimizar el tiempo y abordar las dificultades.

El trabajo en grupo apoya y promueve aprendizajes sin desalentar los esfuerzos individuales.

Debemos tener en cuenta algunos factores que incurren en el trabajo grupal *aprendiendo programas por ordenador*.

El ambiente físico, interviene sobre la atmósfera del grupo y, por tanto, debe ser preparado de modo que contribuya a la confianza, participación y cooperación.

- La intimidación, el reducir de las tensiones, favorece el compromiso y el rendimiento de los grupos. Encontrarse cómodos y a gusto con los demás.
- El Contribuir a relaciones interpersonales amables, cordiales, francas y de colaboración.
- Flexibilizar: Aunque los objetivos deben cumplirse en consonancia con los procedimientos acordados, si sucede que nuevas necesidades o circunstancias aconsejan alguna modificación, debe haber en el grupo suficiente elasticidad y comprensión como para que se posibilite la adaptación constante a la nueva situación. También debe evitarse la excesiva rigidez de reglamentaciones o normas.
- Consensuar: la comunicación debe ser libre y espontánea; que evite la polarización y los “bandos”; que haga posible el acuerdo en las decisiones y resoluciones entre todos los miembros. El consenso se obtiene mediante el buen clima de grupo, de auténticas relaciones interpersonales.
- Comprensión del proceso grupal: el grupo debe distinguir siempre entre “lo que se dice” y la forma” como se dice”, las actitudes y reacciones de los miembros; los tipos de interacción y participación. Ello implica prestar atención, no sólo al tema que se está tratando, sino también a lo que ocurre en el grupo durante la tarea del mismo: “roles”, tensiones, inhibiciones, ansiedad, manera de enfocar los problemas, etc.

1.3.2.- Liderazgos.

Es necesaria la selección de indicadores previos para el perfil del docente. Combinando la formación profesional con la habilidad para transmitir los conocimientos; cualidades que sostiene al liderazgo positivo.

Los encuentros de aprendizaje serán espacio en el cual ejercerá su liderazgo. Para este rol de líder tendrá que vincularse al grupo de oyentes con el vocabulario técnico apropiado, transmitido coherente a la capacidad de asimilación del grupo que tiene a su cargo en ese momento.

El liderazgo está asociado a la práctica didáctica del profesional. Como guía sus funciones se acomodaran a favorecer la producción, y a fomentar las tareas de mantenimiento del grupo. Favorecer la función de producción del grupo requiere la atención y servicio del aspecto socio- operativo, que concierne a la consecución de las tareas propias de los grupos.

Se trata de tres operaciones fundamentales en su desempeño:

a.- La relativa a la información y al método de trabajo:

- formular con claridad el objetivo;
- presentar las etapas de la tarea o problemas que resolver;
- proporcionar las indicaciones oportunas al principio y al fin;
- aportar sugerencias en casos difíciles; evaluar.

b.- Las relativas a la coordinación de las aportaciones y los esfuerzos:

- revelar el rol de cada uno en relación con el de los otros;
- asegurar y controlar la articulación de los roles; hacer el análisis de las distintas etapas del trabajo.

c.- Las relativas a las decisiones:

- Comprenden las referidas a los fines, a los medios o a ambas cosas.

En cuanto a la función de mantenimiento, no depende sólo de factores técnicos y metodológicos, sino, que mira el aspecto *socio-afectivo* y, al *clima psicológico* que reina en el grupo: su moral y su integración, son elementos previos. Por lo demás, las tareas propias de este aspecto son:

- Las intervenciones que apuntan al estímulo y al mantenimiento son:
 - La intervención de los miembros a participar al máximo;
 - Tranquilización o nivelación de ansiedades y tensiones ante dificultades.
- Las que apuntan a la facilitación social son:
 - Establecer o reforzar la comunicación: búsqueda del lenguaje;
 - Expresión de las dificultades y preocupaciones.
 - Descubrir las defensas y bloqueos que amenazan el aprendizaje de los contenidos.
- Las que apuntan a la elucidación son:
 - Requerir una preparación científica, para apreciar los niveles de satisfacción o insatisfacción grupal.

1.3.3. Diseño de dossier didáctico-pedagógico.

La finalidad de diseñar un dossier, es aportar herramientas sistematizadas para acompañar al capacitador en los encuentros de enseñanza–aprendizaje.

Los conocimientos del educador se mediatizan en un material, que innova la complejidad del Programa Informático en conceptualizaciones y ejercitaciones más simples.

En cada encuentro, el material pedagógico colabora en la didáctica del capacitador. La eficacia de las relaciones pedagógicas-didácticas afectará al éxito de las prestaciones.

Para el usuario es una estrategia de aprendizaje del sujeto que aligera la consulta y las posibles intervenciones.

Es necesario visualizar que los usuarios a los que hacemos referencia son individuos previamente seleccionados por los Municipios para la capacitación, no siempre son consultados para participar y, en otros casos, están motivados únicamente por razones económicas o de promoción laboral.

Los materiales didácticos son un soporte de multimedia que valen para la exposición de contenidos y orientan el proceso de aprendizaje.

En las clases presenciales entre los docentes y los usuarios el tiempo es tiempo real. Se establece una comunicación interactiva, se realizan consultas y gestiones de adquisición del material. No obstante, el disponer de soporte en material impreso en papel, optimiza el tiempo de aprendizaje en los domicilios particulares.

1.3.4. Sistema de Evaluación.

Toda capacitación pronostica un Sistema de Evaluación, mediante una Metodología de Relevamiento de opinión de los usuarios. Los aspectos involucrados podrían ser:

- Identificar los requerimientos de los usuarios que concurrieron a la capacitación.
- Determinar las metodologías de aplicación en cada proceso capacitador.

- Elaborar cuestionarios para entrevistas a los usuarios externos a la capacitación.

La capacitación focalizará sus producciones en el aprendizaje y proporcionará la localización de puntos fuertes y áreas de mejora en el Municipio. Garantizando mejor calidad de los servicios en los cuales se focalizan los Programas por Ordenador. Es preciso comenzar la evaluación hacia el interior de la organización (Autoevaluación).

El proceso de evaluación de aprendizajes de los modelos se debe visualizar en la Gestión de calidad de los Municipios. Esto implica el desarrollo de una cultura organizacional orientada hacia la calidad.

La valoración de las capacitaciones suministra identificación y correcciones de deficiencias. En tanto, los resultados de la evaluación proporciona personal formado y motivado; perfeccionamiento en las comunicaciones internas, y garantiza la transmisión a nuevos usuarios además de aumento en la eficiencia operacional.

En algunas instancias, en las cuales el efecto de los Programas trasciende lo institucional, se disfrutará de reconocimiento externo.

1.4.- Condiciones para el aprendizaje del manejo de Programas por Ordenador.

La tecnología mediante la utilización de ordenadores va creando un desarrollo, dominio de habilidades, y capacidades en el usuario, capaz de generar actividades diversas. Es importante rescatar además a la inteligencia y sus dispositivos múltiples.

Las personas adultas son altamente capaces de aprender, pudiendo ser también receptivas a nuevas ideas y aprender nuevas técnicas. Aun cuando es innegable que las personas mayores conservan su capacidad cognitiva, no se aprende con destreza como en la juventud, los tiempos de reacción ante los estímulos son un tanto más prolongados.

No obstante, algunos conflictos son atribuidos a la gran dificultad para usar las técnicas de aprendizaje, tal como la visualización de lo que es aprendido, o asociar lo que se está cultivando con algo ya conocido. Cuando reciben instrucción su capacidad de aprendizaje aumenta sustancialmente.

En el usuario que se capacita, se comprueba una transformación y desarrollo de capacidades cognitivas generales y específicas; la comprensión, asociación de conceptos y deducción, en tanto, la habilidad para formarse en el Programa informático, el saber leer y escribir en un lenguaje informatizado. Los efectos cognitivos aumentan el rendimiento, estableciendo habilidades y estrategias del pensamiento

El empleo de los procesos de aprendizaje, exige por parte del usuario concentración y atención voluntaria. Estos procesos una vez establecidos se transparentan en procesos automatizados en función de la tarea aprendida. Podemos certificar que el aprendizaje del manejo de un Modelo por Ordenador, que el sujeto es capaz no solo de utilizar sino de transmitir el proceso. Los tiempos consagrados para la concentración y el ejercicio de la práctica son importantes.

El mayor rendimiento intelectual se observa en el usuario que logra mayor concentración, opera con atención y voluntariamente se compromete con el Modelo por

Ordenador. En la combinación de las habilidades intelectuales del sujeto y la oferta del Modelo, propuesta por la maquina se construye el aprendizaje.

Los efectos cognitivos de la interacción con el ordenador mediante la utilización de estos Modelos, beneficiará el establecimiento de estrategias y habilidades, que permitan acceder a las actividades de orden superior. Consideramos que el grupo de usuarios capacitados en estos programas podrá ser transmisor de su aprendizaje a futuros colegas que se integren a los equipos de trabajo.

No obstante en todos los procesos logrados por el usuario ha sido indiscutiblemente necesario el acompañamiento didáctico-profesional por parte de un capacitador, además de los factores ambientales y culturales. Así como la motivación interna del sujeto. Aquella motivación que está dentro del sujeto le conducirá a una mejor consecución del objetivo propuesto al no tener que depender del exterior. La dependencia del exterior a la que nos referimos está relacionada con la presencia de aquellos agentes sociales que pueden tener la capacidad de premiar o no. Si no se encuentra presente la recompensa el individuo no puede exigir ser recompensado para actuar de ese modo.

Los elementos que lo definen son: el uso de estrategias de aprendizaje autorregulado, el compromiso hacia las metas y la percepción de auto eficacia que tiene el sujeto sobre la acción de las destrezas.

Conclusiones.

A través del medio informático y de acuerdo a los nuevos conceptos de educación permanente se desarrollan nuevas prácticas de transferencia de conocimiento. La tendencia futura, es que los capacitadores dediquen menos tiempo a dar clases magistrales, mas a la tutoría y/o atención a los adultos que se capacitan. Instaurar o crear hábitos, sugerirles modos de organización para el aprendizaje. Es decir disponerlos para una sociedad de la información y de la calidad.

La transferencia, como acción por la cual se transmite el conocimiento, es especialmente importante para la generalización de los mismos, y de la utilización de la tecnología. Consideramos además que ahorra un esfuerzo en la medida que se internaliza el conocimiento.

Conviene señalar diferencias, para los grupos que se capacitan, y los que no; se observa un continuo en el rendimiento de los primeros, en el que aparecen como notas características, se polarizan las actividades intelectuales como de tipo más desorganizado y muy determinado en función de la tarea, y otro de tipo más flexible.

Bibliografía.

- Comunidad Valenciana. Avantic. 2004-2010. Avanzando con las tecnologías.
- Casanova, María Antonia. 1992. La evaluación garantía de calidad para el centro educativo. Ed. Edelvives.
- CEVALSI. Valencia, 2007. Observatorio Valenciano de la Sociedad Tecnológica y el Conocimiento.
- Estudio previo a la actuación de Comercio Electrónico en Alcoy. Valencia, 2003.

- Fundación OVSI. Valencia, 2003. Diagnostico y Detección de Necesidades Formativas en Nuevas Tecnología en ALCOI.
- INFOVILLE 21. Del Municipio virtual a la comunidad autónoma digital.
- Niremborg Olba Braerman y Joset Ruiz, Violeta. Programación y evaluación de Proyectos Sociales. Paidós.
- Nevo, David. 1997. Evaluación basada en el centro.
- Nevo, David. La evaluación interna y externa del centro.
- Programa Avantic. Avanzando con las tecnologías. 2004-2010. Comunidad Valenciana. Imprime Graficas Díaz S.L.
- Stuffebeam, Daniel. El papel de la evaluación en la mejora escolar.

MODELOS DE SIMULACIÓN ORIENTADOS AL USUARIO: ANÁLISIS DE LA INTERFASE DE LOS MODELOS DESARROLLADOS POR EL GSG

Carlos Schenone

Ingeniero en Sistemas del CEGELAH/FCYT

Tabla de contenidos

INVESTIGACIÓN APLICADA.....	175
APROXIMÁNDONOS A NUESTROS OBJETOS DE ESTUDIO... ..	178
NUESTROS OBJETOS DE ESTUDIO	185
Nuestro primer objeto de estudio. ¿Como logramos que el usuario se involucre en las etapas de desarrollo del modelo?.....	185
Nuestro segundo objeto de estudio. ¿Cómo logramos que el modelo sea utilizado por el usuario con un mínimo de esfuerzo y perdure su uso en el tiempo?	186
LA NOBLE TAREA DE LOGRAR EL ACERCAMIENTO DE LOS USUARIOS A LAS HERRAMIENTAS.....	188
Un estilo de interacción: Manipulación directa.....	190
GUÍAS PARA EL DISEÑO DE INTERFACES	191
Guías para el diseño centrado en el usuario.....	191
Guías para el diseño de Menús, Formularios y Cuadros de diálogo	192
Guías para el diseño de menús	193
Guías para mantener la coherencia en la redacción	194
Guías para la composición y diseño gráfico de menús.....	194
Guías para el diseño de formularios.....	195
Guías para el diseño de los mensajes de realimentación.....	196
Guías para la presentación de información	196
EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE INTERFAZ.....	197
ANÁLISIS DE LA INTERFAZ DE LOS DESARROLLOS DEL GSG	198
Modelo para la optimización del plan trienal de inversiones.....	198
Modelo de priorización de proyectos para ayuntamientos.....	200
Control del desempleo por ordenador.....	202
CONCLUSIONES.....	206
BIBLIOGRAFÍA.....	207
ANEXO I. ESTRATEGIAS PARA PREVENIR LOS PROBLEMAS DE LA INFORMACIÓN Y REDUCIR SUS EFECTOS.....	209

Investigación Aplicada

Horace Mann. Thought (1867) citó: “Queremos principios, no solo desarrollados –el esfuerzo que queda oculto- sino aplicados, el esfuerzo que les da vida”. La investigación aplicada es una de las principales fuerzas directoras de nuestros esfuerzos, al igual que el Grupo de Sistemas Generales de la Universidad de Valencia, con el cual tenemos el orgullo y satisfacción de poder compartir experiencias, nutriéndonos de su experiencia en el área de sistemas y en particular en el área de modelos de simulación.

Avancemos hacia nuestro tema de interés, plasmado en el título del presente documento. Los receptores del presente trabajo, no necesariamente deben pertenecer al ambiente de la informática, ni tampoco al del modelado de sistemas, sino que los usuarios de sistemas podrán encontrar ideas para plantear sus necesidades en futuros desarrollos. Pensando en ellos y los potenciales lectores no familiarizados con la informática, debemos quitar las piedras del camino antes de continuar, luego plantearemos las barreras a la cual nos enfrentamos y por último definiremos lineamientos que agreguen luz a estos problemas.

Analicemos en primer lugar, ¿Que son los modelos de simulación? A entender de Caselles (2008) un modelo es como un dibujo, una maqueta, una escultura, **una descripción literaria, unas ecuaciones matemáticas, quiere ser una representación aproximada, simplificada, del sistema** real, de su estructura y de su comportamiento. El objetivo con el que construimos un modelo es el de obtener de él respuestas que el sistema real tardaría en darnos, sería costoso y quizá peligroso obtener del mismo. A esto se le llama “simulación”, hacer experimentos sobre el modelo en lugar de hacerlos sobre el sistema real.

La concepción de sistemas, indica que para llegar a buenos resultados debemos estudiar no solo el objeto, en nuestro caso el modelo de simulación, sino también sus relaciones (Figura 1). Podemos identificar al constructor del modelo, cuyo trabajo es construir el modelo e interactuar con el modelo mismo, y al usuario, quien da vida al modelo, lo alimenta con las entradas y analiza los resultados del mismo. Estos tres componentes y sus interrelaciones deben formar parte de nuestro estudio (Tabla 1).

Parte del Sistema	Entrada	Proceso	Salida
Constructor del modelo	- Conocimiento sobre el problema a modelar. - Conocimiento sobre la metodología de modelado.	Construir el modelo. Validar el modelo.	Modelo Validado
Modelo de simulación	Entradas al modelo (dependen del problema)	Aceptar entradas, procesarlas y devolver resultados	Resultados del modelo (gráficos o tablas)
Usuario del modelo	- Conocimiento sobre el problema. - Conocimiento sobre el uso del modelo. - Resultados del modelo	Seleccionar las entradas al modelo. Ingresar las entradas al modelo. Interpretar los Resultados del modelo.	Entradas del modelo.

Tabla 1. Sistema Modelo de simulación

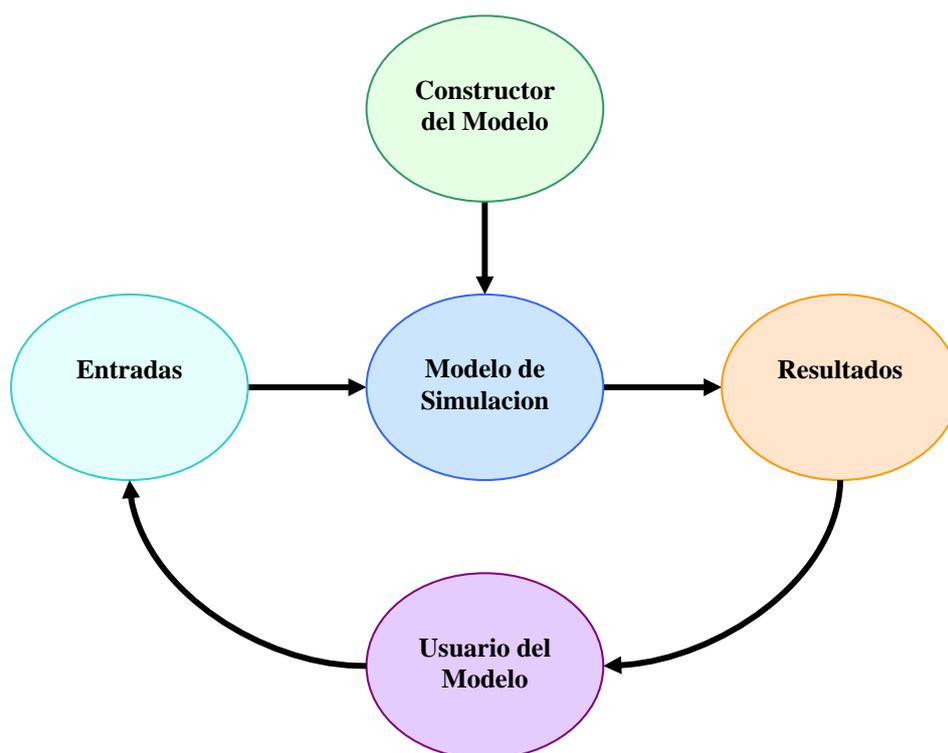


Figura 1. Sistema de información del Modelo de Simulación

Los modelos de simulación que consideramos en nuestro estudio, son programas de computadora, que aceptan entradas, las procesan y devuelven resultados; por ejemplo, en un modelo para el control del desempleo¹, algunas entradas serán: Tasa de crecimiento de las exportaciones, Tasa de crecimiento de la importaciones, Consumo Público, Porcentaje de asalariados entre los trabajadores; y algunas salidas serían: la Capacidad/necesidad de financiación de las Administraciones Públicas y la Tasa de desempleo.

Independientemente de la herramienta utilizada para construir el modelo, siempre habrá en el proceso de creación subjetividad y arte, focalizado en la habilidad del constructor.

Metodología para la construcción de un modelo de simulación

Encontramos distintas metodologías para modelar sistemas. Caselles (1994) propone un proceso modelizador general y eficiente, organizando métodos parciales e integrado ideas de Forrester (1961 y 1966), Checkland (1981), Morecroft (1982), Balci (1986), Mathewson (1989), Zhang et al. (1990) y Caselles (1992 y 1993).

Aunque no es el objetivo de este trabajo que el lector aprenda a realizar modelos, es necesario mencionar cuales son las etapas de este proceso modelizador definido por Caselles (2008) (Tabla 2).

¹ Control del desempleo por simulación. Caselles, Antonio; Ferrer, Lorenzo; Martínez de Lejarza, Ignacio; Pla, Rafael; Temre, Rachid. Ed. Universidad de Valencia. 1999.

Etapa	Nombre	Descripción
1.	Descripción del problema.	Consiste en la especificación de los objetivos y de los condicionantes en lenguaje natural
2.	Construcción de un modelo conceptual	
2.1.	Elección de los objetos, elementos o variables que tengan alguna relación con los objetivos propuestos.	
2.2.	Identificación de relaciones causa-efecto entre los elementos seleccionados.	
2.3.	Asignación de una representación funcional a las relaciones detectadas.	Consiste en escribir dichas relaciones entre variables como ecuaciones y/o tablas y/o reglas lógicas
3	Programación del modelo para una computadora o instrucción de un grupo de expertos (generalmente el mismo que ha construido el modelo conceptual) sobre la estructura y el comportamiento del mismo.	Para auxiliar al constructor del modelo, se dispone de diversos métodos, entre los que se desatacan, las Hojas de cálculo, Generadores de aplicaciones (herramientas CASE), Lenguajes de Simulación, Interpretadores de Descripciones (Davies y O'Keefy, 1989), técnicas de Dinámica de Grupos humanos (para modelos mentales o "soft"), etc.
4	Calibrado del modelo.	Algunos tipos de modelos requieren esta operación, que consiste en asignar un valor lo más adecuado posible a los parámetros del modelo una vez construido este.
5	Análisis de sensibilidad	Algunos tipos de modelos y concretamente los que requieren de la operación de calibrado, necesitan también del análisis de la sensibilidad de las variables endógenas frente a pequeñas variaciones de los valores de los parámetros.
6	Evaluación de la validez o utilidad del modelo para el logro de los objetivos propuestos.	Métodos que se sugieren: establecimiento de reglas y/o ecuaciones y/o tablas para determinar el grado de ajuste entre el modelo y el sistema real.
7	Diseño de experimentos o de procedimientos de optimización para ser realizados sobre el modelo.	
8	Realización de los experimentos o procedimientos de optimización diseñados.	
9	Presentación de los resultados obtenidos.	
10	Toma de decisiones.	

Tabla 2. Etapas del modelado de sistemas

El creador de los modelos debe conocer, estudiar y aprehender una metodología que lo guíe en este proceso.

Aproximándonos a nuestros objetos de estudio...

Existen herramientas informáticas que pueden auxiliar en el proceso de creación del modelo, para facilitar por ejemplo la realización de la validación del modelo, pero se debe conocer cómo utilizarlas. Se debe comprender que los usuarios de estas herramientas generalmente serán quienes más conozcan del problema a modelar, y no necesariamente será gente familiarizada con la informática, entonces encontramos aquí un objeto de estudio interesante: cómo lograr que aquellas personas que tienen un problema, cuya solución pueda ser asistida a través de un modelo de simulación, cuenten con una herramienta que les permita construirlo con un escaso conocimiento en informática, de manera que se requiera una mínima o ninguna intervención de un especialista en modelado. Esta será nuestra utopía como grupo. Seremos cautos en nuestro avance, sin perder de vista este objetivo, somos conscientes que debemos progresar hacia él en forma gradual para no fallar a la hora de transferir al medio que nos ocupa, el municipal, las capacidades necesarias para el uso de la herramienta. El primer escollo que tendremos que sortear en este largo camino que hemos comenzado a andar será el estudio de la reducción de la brecha entre nuestros usuarios municipales y los modelos de simulación ya diseñados. Lo novedoso de nuestra intervención será la fuerte interacción de estos usuarios en el diseño.

Aquí encontramos nuestro segundo objeto de estudio. El usuario que utiliza el modelo es otro engranaje del sistema de información, él es quien da origen al desarrollo, y es quien lo utilizará. Para esta persona el modelo es solamente una herramienta que lo asistirá en el análisis de un problema, no le interesa saber los detalles técnicos detrás del mismo, su energía debe concentrarse en la resolución del problema. Si el uso de la herramienta es un problema en sí mismo seguramente desalentara su uso y todo el esfuerzo de desarrollo del modelo habrá sido en vano. Planteamos aquí el segundo objeto de estudio, debemos garantizar una interacción libre de barreras entre el usuario y el modelo, de manera que el usuario pueda utilizar en forma agradable su herramienta, es decir, que pueda ingresar valores a las variables, armar escenarios y obtener los resultados con un mínimo de esfuerzo. No alcanza con agregar ayudas en línea y manuales de usuario, sino que se debe plantear un estudio profundo del perfil del usuario y el acercamiento a la computadora.

Estos dos objetos de estudio comparten un elemento común, la interfaz, entendiendo como interfaz aquello se encuentra en medio de dos elementos desean comunicarse (Figura 2).

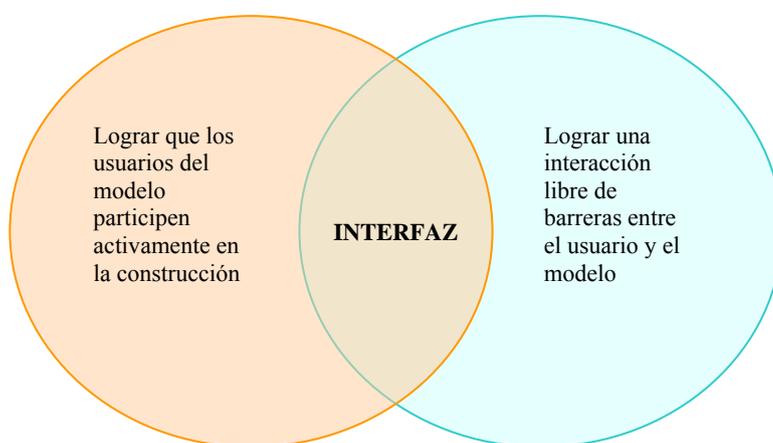


Figura 2. Síntesis del problema a estudiar

En los dos casos, los elementos que se deben comunicar son el hombre y algún componente del modelo de simulación. Este modelo de simulación es un programa de computadora, entonces debemos concentrarnos en definir lineamientos para el desarrollo de una interfaz hombre – computadora efectiva (Figura 3). De aquí en adelante, al hombre que utiliza el modelo de simulación lo llamaremos usuario, dado que utiliza el modelo de simulación.

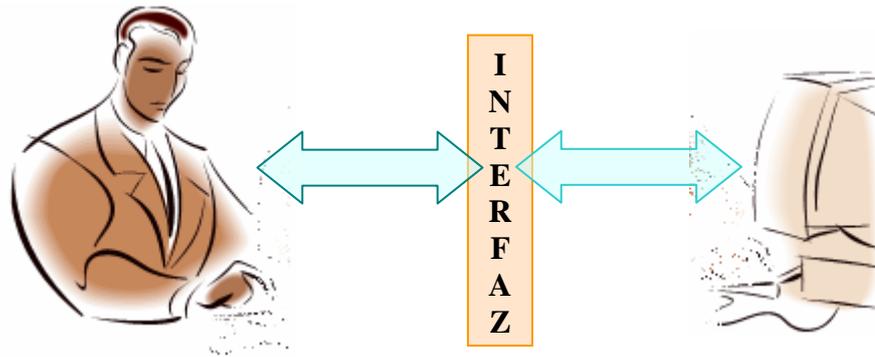


Figura 3. Interfaz Hombre-computadora

Conociendo los antecedentes...

Antes de abordar el problema es necesario que construyamos una sólida base de conocimiento, comencemos entonces por llenar este vacío introduciéndonos en la historia de la computadora, centrando nuestro análisis en la forma en que se comunicaban la misma y el usuario, desde sus inicios hasta el presente.

Las primeras computadoras aparecen en la década del 40, solo cabía en un gran salón y pesaba más de 30 toneladas (Figura 4); pensemos que solo han pasado poco más que 50 años, en este tiempo la evolución de la electrónica ha permitido que los componentes reduzcan su volumen, posibilitando que el tamaño de las computadoras disminuya y aumente su poder de cómputo, es decir, la cantidad de órdenes que puede ejecutar en un determinado tiempo. Hasta llegar a la actualidad con computadoras que realizan miles de millones de instrucciones en un instante de tiempo y el tamaño se ha reducido hasta encontrar computadoras que entran en un bolsillo (Figura 5).



Figura 4. Entorno de computación ENIAC.
Fuente: Computer History Museum.



Figura 5. Netbook. Fuente: Lenovo.

Lamentablemente la forma de comunicarse con la computadora no ha acompañado esta evolución tan espectacular del equipamiento. Los diseñadores de estos componentes idearon un lenguaje muy simple, denominado código de máquina, formado solamente por dos símbolos, que generalmente se representan con los números 0 y 1. Las palabras de este lenguaje se formaban con una sucesión de estos símbolos, por ejemplo para indicar que queremos sumar dos números, las ordenes a impartir serían 0010100100 0110110110. La

Del '40 al '90, pasamos de 30 tn. de máquina a las computadoras personales

La comunicación entre la computadora y el hombre se ha hecho más fluida desde la invención de los traductores y su incorporación en las computadoras, posibilitando, luego de un tiempo de maduración, la aparición de las aplicaciones. La comunicación entre el hombre y esta primera generación de aplicaciones era formal, rígida y desprovista de elementos agradables a la vista. El usuario se encontraba ante una pantalla repleta de letras, símbolos y menús de opciones (Figura 6).

```
H:INTRO PAGE 1 LINE 9 COL 11          INSERT ON
      <<<      M A I N      M E N U      >>>
--Cursor Movement-- | -Delete- | -Miscellaneous- | -Other Menus-
^S char left ^D char right | ^G char | ^I Tab  ^B Reform | (from Main only)
^A word left ^F word right | DEL chr lf | ^V INSERT ON/OFF | ^J Help  ^K Block
^E line up  ^X line down  | ^T word rt | ^L Find/Replce again | ^Q Quick ^P Print
--Scrolling-- | ^Y line | RETURN End paragraph | ^O Onscreen
^Z line down ^W line up | | ^N Insert a RETURN |
^C screen up ^R screen down | | ^U Stop a command |
!-----!-----!-----!-----!-----!-----!-----!-----R

1. Introducing WordStar

WordStar is highly flexible and very visible. Watch the
screens as you give commands, and information in various
parts of the screen will guide you. You won't see all the
information all the time, but it will be there when you need
it.

WHERE YOU ARE

The seven WordStar menus are your greatest aids. They are
like signposts at the top of your screen, showing you where
you are.
1HELP 2INDENT 3SET LM 4SET RM 5UNDLIN 6BLDFCE 7BEGBLK 8ENDBLK 9BEGFIL 10ENDFIL
```

Figura 6. Interfaz de las primeras versiones del procesador de textos WordStar.

Fuente: www.wordstar.org

Podemos detectar en esta evolución que cada paso acerca más la computadora hacia el hombre, tanto en el diseño de equipamiento como en el diseño de los programas que ponen el equipamiento al servicio del hombre.

A mediados de la década del 80, empresas como Microsoft, IBM y Apple introducen un nuevo concepto en la comunicación hombre – máquina, la interfaz gráfica. Este desarrollo posibilitará que la computadora comience a acercarse a diferentes perfiles de usuarios, desde niños hasta ancianos, y comiencen a surgir aplicaciones para el trabajo, diversión y ocio, incorporando más elementos, más atractivos y mayor facilidad de uso (Figura 7).



Figura 7. Interfaz grafica de Windows Vista. Fuente: www.microsoft.com

En la actualidad, los desarrolladores de aplicaciones tienen a su alcance nuevos elementos para facilitar la comunicación con el usuario, además del teclado, hoy disponemos de dispositivos que capturan nuestra escritura y la incorporan en un procesador de texto (Figura 8), o podemos señalar las distintas opciones utilizando nuestro dedo directamente sobre el monitor, también podemos dar órdenes a la computadora con nuestra voz, la computadora también puede reconocer lo que aparece en la pantalla y leerlo por nosotros; se ha profundizado el avance en el campo del diseño de interfaces y la interacción con los usuarios, los desarrolladores de la actualidad disponen de herramientas tecnológicas que permitirían materializar todo aquello que su mente pueda concebir, disponen de colores, formas, texturas, animaciones, texto y sonidos, incluso se ha acuñado un nombre para estos elementos, denominándolos multimedia. Esta área evoluciona continuamente, transformándose en una poderosa aliada para lograr el acercamiento de la comunidad a la computadora.



Figura 8. Usuario ingresando información con un lápiz digital en una notebook.

Fuente: www.microsoft.com

Desafíemos la imaginación

Hemos llegado al presente, nos encontramos en lo más alto de la escalera, el camino recorrido es escaso en años pero vertiginoso en cambios tecnológicos, basta con reflexionar que una misma generación pudo presenciar la evolución de la computadora desde los gigantes hasta las netbook de la actualidad. Hoy la barrera para acercar al usuario a la computadora no es la tecnología, sino la imaginación. Es necesario romper con los estándares tradicionales de diseño basados en la introspección y la intuición, trascender del ambiente de programación y formar grupos interdisciplinarios para la definición de nuevos paradigmas, además de programadores, se debe contar con el aporte de arquitectos de la información, psicólogos, pedagogos, expertos en ergonomía, antropólogos, sociólogos, que permitan repensar las aplicaciones; las nuevas fuerzas directoras del proyecto deberían ser las necesidades y capacidades humanas.

El usuario es un ser social y como tal no se puede concebir aislado de su entorno, sino en relación con el resto de las personas y el medio físico que lo rodea. Según Torres Sánchez (2009), la mayor parte de los proyectos de implementación de tecnologías de información fracasan. Esta estadística impulsa estudios respecto a las causas, pero generalmente se hace foco en la gestión del proyecto y procesos de desarrollo de software, olvidándose de la interfaz hombre-computadora como un factor de importancia. Se debería plantear como objetivo primario, para la implantación de tecnologías de la información y comunicación (TIC), que el sistema concebido sea recibido con agrado por los usuarios, que puedan utilizar la aplicación y que la continúen utilizando a lo largo del tiempo. De otra manera el proyecto contribuirá a la triste estadística.

Año de aparición	Paradigma
Desafío para el futuro	Desarrollo de nuevos paradigmas de interfaz gráfica centrados en el usuario
1985	Interfaz gráfica
1955	Interfaz de caracteres
1945	Lenguaje binario, ensamblador

Figura 9. Evolución de las interfaces

Nuestros objetos de estudio

Como mencionamos en la introducción, nuestro objeto de estudio es el sistema formado por el realizador de modelos de simulación, el modelo resultante y el usuario de este modelo. Nuestro objetivo es lograr que los usuarios, en nuestro caso los agentes municipales, utilicen las herramientas informáticas, en nuestro caso los modelos de simulación, y además, que el uso se realice de forma agradable, respondiendo positivamente a las condiciones formativas y operativas de los usuario. Debemos lograr que los usuarios sientan que estas herramientas son aliados, no enemigos para el cumplimiento de sus tareas en forma eficiente y eficaz, y que su uso perdure a lo largo del tiempo.

Para lograr nuestro objetivo es necesario que el usuario se involucre en las etapas de desarrollo del modelo, asistiendo, aportando ideas, de esta manera tendremos mayores posibilidades de éxito, reduciremos la brecha entre el usuario y el modelo, a la vez que mejoraremos el proceso de transferencia de conocimiento desde los expertos a los usuarios.

Podemos reformular nuestro objetivo en forma de preguntas a responder, las cuales guiaran nuestro proceso de análisis. Primero ¿Cómo logramos que el modelo responda positivamente a las condiciones del usuario? Y luego ¿Como logramos que el usuario se involucre en las etapas de desarrollo del modelo?

Nuestro primer objeto de estudio. ¿Cómo logramos que el usuario se involucre en las etapas de desarrollo del modelo?

En este punto, podemos definir distintos niveles de intervención del usuario, desde una intervención mínima, asumiendo el rol de cliente, quien plantea una necesidad y un grupo de expertos desarrollaran un modelo; hasta un máximo de intervención, cuando los roles se invierten, el usuario mismo es quien desarrolla el modelo y los expertos tendrán, en caso de requerirlo, una participación mínima como consultores en problemas tecnológicos.

El Grupo de Sistemas Generales de la Universidad de Valencia, con varias décadas de experiencia en desarrollo de modelos de simulación, indica que la intervención del usuario en los procesos de desarrollo e implantación de modelos de simulación es mínima, esto puede ser una causa del bajo índice de usabilidad de los modelos desarrollados por este Grupo, en especial aquellos modelos desarrollados para ayuntamientos.

Debemos buscar una mayor participación del usuario en las etapas de desarrollo, trabajando en conjunto con los expertos, realizando aportes, aclarando dudas respecto al problema a modelar y los resultados a obtener. El aporte de los usuarios es invaluable para que el sistema final (realidad/modelo/interfaz/usuario) resultante este en sintonía con la cosmovisión de los usuarios y lo hagan suyo.

Para facilitar la intervención del usuario, debemos presentarle una metodología concreta y herramientas que faciliten la creación y uso del modelo. Necesitamos herramientas que liberen al experto y usuario de tareas rutinarias, permitiendo que se concentren en aquellas etapas relacionadas con el diseño; el diseño es arte y como tal es una capacidad humana, en este sentido la herramienta que deseamos debe tener la capacidad para generar el modelo

matemático que representa la abstracción de la realidad que interesa estudiar, por medio de consignas simples.

Herramientas para construir modelos

Analicemos las herramientas que existen para construir modelos. De acuerdo a Caselles (2008) las ayudas informáticas para la modelización se pueden clasificar en lenguajes de simulación, interpretadores de descripciones y generadores de aplicaciones. Las primeras permiten construir un modelo utilizando un lenguaje de programación de computadoras el cual es necesario dominar; los interpretadores de descripciones permiten construir un modelo a partir de una descripción semi-formal del sistema, sin posibilidad de dialogar con el usuario; por último los generadores de aplicaciones son programas que dialogan con el usuario, interpretan sus respuestas y construyen otros programas que pueden ser utilizados de manera independiente. En este último grupo, se destaca SIGEM por su facilidad para adaptarse a un amplio espectro de problemas, además está enteramente fundado sobre la Teoría General de Sistemas.

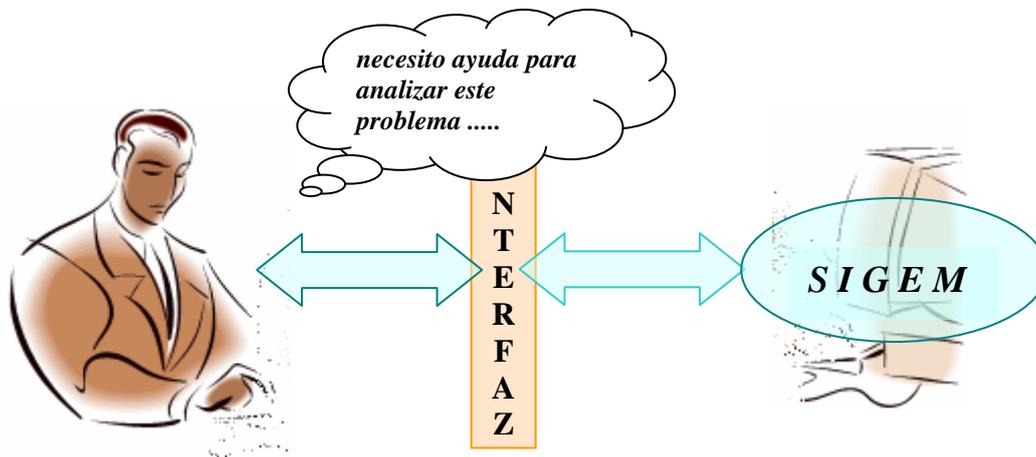


Figura 10. SIGEM: Ayuda informática para la modelización.

Nuestro segundo objeto de estudio. ¿Cómo logramos que el modelo sea utilizado por el usuario con un mínimo de esfuerzo y perdure su uso en el tiempo?

Para responder a esta pregunta, debemos analizar primero la herramienta que hemos elegido para generar los modelos de simulación que transferiremos a los agentes municipales, el SIGEM, y los procedimientos que utiliza para dialogar con el usuario. Caselles plantea que los programas construidos por SIGEM dialogan con el usuario (Figura 11), dándole indicaciones sobre cómo proceder (Figura 13), planteándole preguntas (Figura 14), ofreciendo menús (Figura 12) y ejecutando sus órdenes.

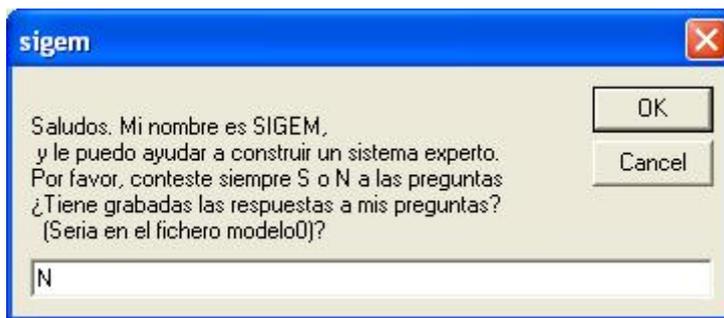


Figura 11. Interfaz de SIGEM. Presentación

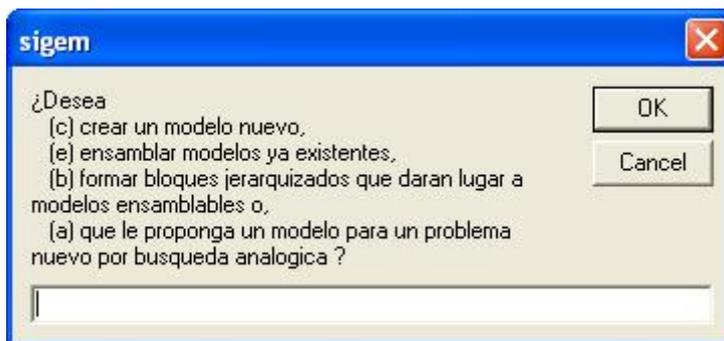


Figura 12. Interfaz de SIGEM. Menú principal

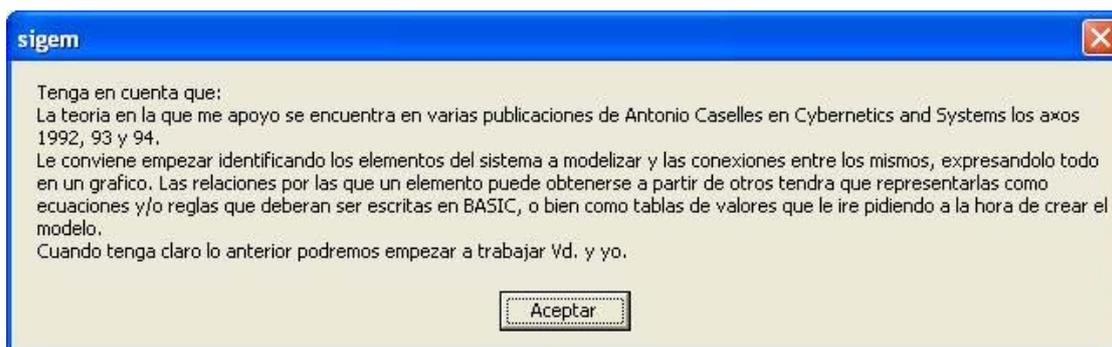


Figura 13. Interfaz de SIGEM. Consejos a los usuarios

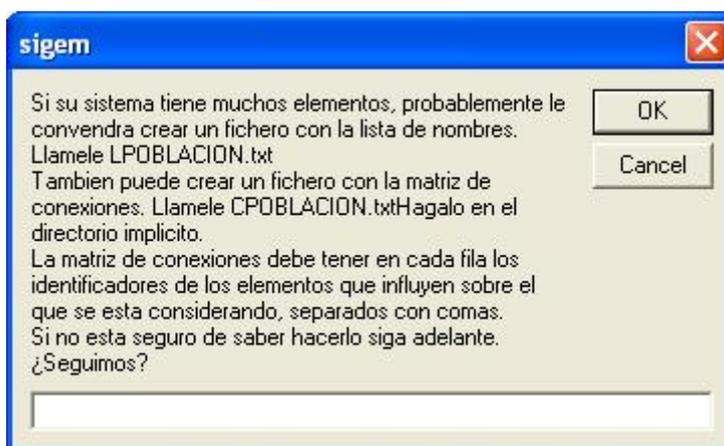


Figura 14. Interfaz de SIGEM. Consejos a los usuarios

SIGEM usa un interface de dialogo en un entorno de caracteres y almacena los resultados en archivos de texto que pueden ser manipulados por el usuario (Figura 15). De acuerdo a Caselles (2008) estas características colocan al SIGEM un escalón encima que el resto, pero esta conclusión es cierta para un perfil de usuario determinado. Nuestro interés es favorecer la usabilidad universal, focalizando en nuestros usuarios objetivo, entre ellos encontramos personas que no poseen formación informática, o el miedo y frustración dominan su relación con la computadora, para este perfil de usuario la interfaz de caracteres y los archivos de texto no serán componentes adecuados de la comunicación entre el modelo y los usuarios.

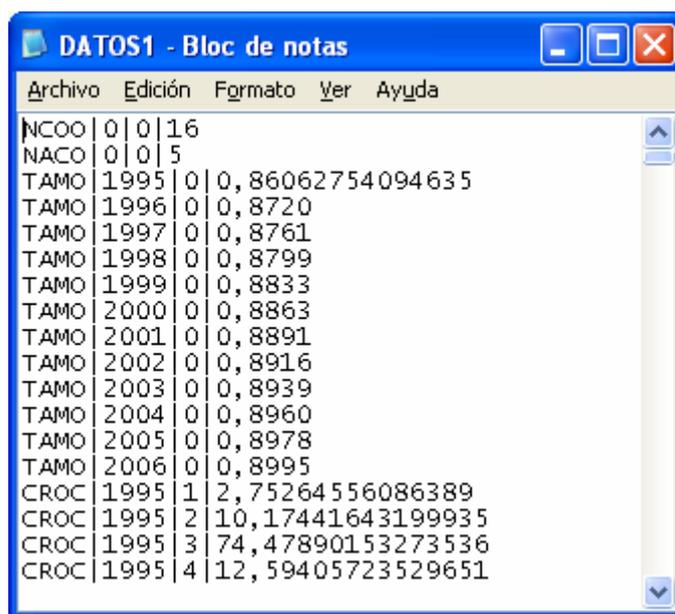


Figura 15. Contenido de un archivo utilizado para ingresar datos al modelo

La noble tarea de lograr el acercamiento de los usuarios a las herramientas...

Rutkowski (1982) expresó un concepto interesante es su *principio de transparencia*: “El usuario puede aplicar la inteligencia directamente a la tarea; da la impresión de que la herramienta en sí misma desaparece”.

Mucha gente se siente incómoda con las computadoras, Es posible que tengan miedo de cometer errores, estén inquietos por la posibilidad de estropear el equipo, preocupados por sentirse incompetentes. Estos miedos están generados, en parte, por malos diseños, menús complejos, secuencias de acciones tortuosas o caóticas y términos incomprensibles.

Uno de los objetivos es estimular a los usuarios a convertir sus miedos en acciones de indignación (Shneiderman, 2002). En vez de sentirse culpables cuando obtienen un mensaje tal como ERROR DE SINTAXIS, deberían expresar su enojo al diseñador de la interfaz que fue tan desconsiderado e irreflexivo. La imagen técnica y orientada a la maquina que posee la aplicación, debe dar paso a una de cordialidad, sensibilidad e interés por el usuario.

Shneiderman y Plainsant (2006) indican que cada experimento tiene dos padres: los problemas prácticos a los que se enfrentan los diseñadores y las teorías fundamentales

basadas en los principios de comportamiento humano y el diseño de interfaces. Comience proponiendo una hipótesis coherente y demostrable. Luego considere la metodología de investigación apropiada, dirija el experimento, recopile datos y analice los resultados. Cada experimento también tiene tres hijos: recomendaciones concretas sobre el problema práctico, refinamiento de las teorías y guías para experimentadores futuros.

Heckel (1991) lamenta que “Nuestros instintos y formación como ingenieros nos estimulen a pensar de forma lógica en vez de visual, y esto es contraproducente para un diseño amigable”. La ciencia de diseño interdisciplinario, denominada *interacción persona – computadora* proporciona guías para abordar estos problemas.

Shneiderman y Plaisant (2006) enumeran “las ocho reglas de oro” del diseño de interfaces, y aunque necesitan validarse y refinarse para diseños específicos, seguramente serán un buen punto de partida para los diseñadores e investigadores:

1. ***Esforzarse por conseguir consistencia.*** En situaciones parecidas deberían exigirse secuencias de acciones consistentes; debería utilizarse terminología consistente en los mensajes, menús y pantallas de ayuda; y en todas partes debería emplearse de forma consistente color, composición, mayúsculas, fuentes, etc. Las excepciones, como la necesaria confirmación de la orden de borrado o no mostrar los caracteres de las contraseñas, deberían ser comprensibles y limitadas en número.
2. ***Atender la usabilidad universal.*** Reconocer las necesidades de plasticidad de los diversos usuarios y del diseño, facilitando la transformación del contenido. Considerar las diferencias principiante-experto, rangos de edad, discapacidades y diversidad tecnológica, a la vez que se sumen características de acuerdo a la base de conocimiento, como explicaciones para principiantes y, atajos para expertos, pueden enriquecer el diseño y mejorar la calidad percibida del sistema.
3. ***Ofrecer realimentación informativa.*** Para cada acción del sistema debería haber una realimentación por parte del mismo. Una manera de reducir la pérdida de productividad debida a errores es mejorar los mensajes de error proporcionados por la interfaz. Los buenos mensajes de error son concretos, tienen un tono optimista y son constructivos (diciéndole al usuario que hacer, en lugar de simplemente informarle del problema). En vez de usar mensajes imprecisos u hostiles (“Operación ilegal” o “Error de sintaxis”) se indica a los diseñadores a usar mensajes informativos como “La impresora está apagada, por favor, enciéndala” o “Los meses están entre 1 y 12”.
4. ***Diseñar diálogos para conducir a la finalización.*** Las secuencias de acciones deberían organizarse en grupos con comienzo, mitad y final. La realimentación informativa al completar un grupo de acciones da a los operadores la satisfacción del trabajo realizado, una sensación de alivio, y la señal para prepararse para el siguiente grupo de acciones.
5. ***Prevenir errores.*** Diseñar el sistema de forma que los usuarios no puedan cometer errores serios; por ejemplo, deshabilitar (poniéndolos en gris claro) los elementos de menú que no son adecuados y no permitir caracteres alfabéticos en campos de entrada numéricos. Si un usuario comete un error, la interfaz debería detectar el error y ofrecer instrucciones de recuperación simples, constructivas y concretas.
6. ***Permitir deshacer acciones de forma fácil.*** En la medida de lo posible, las acciones deberían ser reversibles. Esta característica disipa la ansiedad, puesto que los usuarios saben que los errores pueden deshacerse, estimulando así la exploración de opciones desconocidas.
7. ***Dar soporte al locus de control interno.*** Los operadores experimentados desean firmemente tener la sensación de que están al mando de la interfaz y que la interfaz

responde a sus acciones. Las secuencias de entrada de datos tediosas, la incapacidad o dificultad para obtener la información necesaria y la incapacidad para producir la acción deseada, crea ansiedad e insatisfacción. Gaines (1981) capturo parte de este principio con su regla *evita la no causalidad* y su estímulo para hacer a los usuarios iniciadores de acciones en vez de simplemente los que responden a ellas.

8. **Reducir la carga de la memoria a corto plazo.** La limitación del procesamiento de información humano en la memoria a corto plazo (la regla general es que los humanos pueden recordar “siete más / menos dos elementos” de información) exige que las visualizaciones se mantengan simples, las visualizaciones con varias páginas se reduzcan a una, la frecuencia de movimientos de ventana se reduzca y que se asigne suficiente tiempo de entrenamiento para códigos y secuencias de acciones. Donde sea apropiado debería proporcionarse acceso en línea a la sintaxis de órdenes, abreviaciones, códigos y otra información.

Un estilo de interacción: Manipulación directa

Las ideas principales asociadas a las interfaces de manipulación directa (Shneiderman, 1982), son la visibilidad de objetos y acciones de interés; acciones rápidas, reversibles e incrementales; y el reemplazo de ordenes tecleadas por una acción que consiste en señalar sobre el objeto de interés. Arrastrar un archivo a la papelera es un ejemplo familiar de manipulación directa.

Debemos fomentar en el usuario, como mencionan Hutchins, Hollan y Norman (1986) cuando examinan los conceptos de manipulación directa, “*el sentimiento de participar directamente con un mundo de objetos, en vez de comunicarse con un intermediario*”.

Shneiderman y Plaisant, destacan las ventajas de la manipulación directa, que pueden resumirse con tres principios:

1. Representaciones continuas de los objetos y acciones de interés mediante metáforas visuales significativas. Por ejemplo, un cesto de basura para indicar un contenedor de objetos eliminados.
2. Acciones físicas o pulsación de botones etiquetados en vez de sintaxis compleja.
3. Acciones rápidas, incrementales y reversibles cuyos efectos sobre los objetos de interés sean visibles de forma inmediata.

Usando estos tres principios es posible diseñar sistemas que tengan los siguientes atributos beneficiosos:

- Los principiantes pueden aprender rápidamente la funcionalidad básica, normalmente mediante una demostración por parte de un usuario más experimentado.
- Los expertos pueden trabajar de forma rápida para llevar a cabo una amplia gama de tareas, incluso definiendo nuevas funciones y características.
- Los usuarios ocasionales que disponen de conocimientos pueden recordar conceptos operacionales.
- Los mensajes de error casi nunca son necesarios.
- Los usuarios pueden ver inmediatamente si sus acciones están actuando para conseguir sus objetivos y, si las acciones son contraproducentes, pueden simplemente cambiar la dirección de su actividad.
- Los usuarios experimentan menos ansiedad debido a que la interfaz es comprensible y gracias a que las acciones se pueden deshacer fácilmente.

- Los usuarios ganan confianza y destreza porque son los iniciadores de la acción, se sienten al mando de la situación y pueden predecir las respuestas de la interfaz.

Guías para el diseño de interfaces

Las experiencias que tienen los usuarios con los menús, formularios, iconos, indicaciones, explicaciones, diagnósticos de error y avisos de los sistemas informáticos juegan un papel crítico a la hora de influir sobre la aceptación de los sistemas. Proporcionamos a continuación un conjunto de guías para el diseño que ayudaran a planificar el diseño de interfaces.

Guías para el diseño centrado en el usuario

1. Diseño de iconos

- Representar el objeto o acción de una manera familiar y reconocible
- Limitar el número de iconos diferentes
- Hacer que el icono destaque sobre el fondo
- Considerar iconos tridimensionales con cautela; son llamativos pero pueden distraer
- Asegurar que un icono individual seleccionado es claramente visible cuando está rodeado de iconos no seleccionados
- Hacer cada icono inconfundible con respecto a cualquier otro icono
- Asegurar la armonía de cada icono como miembro de una familia de iconos
- Diseñar la animación del movimiento: cuando se arrastra un icono, el usuario podría mover todo el icono, solo un marco, posiblemente una versión en gris o transparente.
- Añadir información de detalle, como sombreado para mostrar el tamaño de un archivo (mayor sombreado indica un archivo más grande) o animación para mostrar que proporción de un documento se ha impreso
- Explorar el uso de combinaciones de iconos para crear nuevos objetos o acciones, por ejemplo, arrastrar un icono de documento a un icono de carpeta, papelera, bandeja de salida o impresora tienen gran utilidad. ¿Puede un usuario establecer niveles de seguridad arrastrando un documento o carpeta a un icono perro guardián?

2. Interfaces 3D

- Usar la oclusión, sombras, perspectiva y otras técnicas 3D con cuidado.
- Minimizar el número de pasos de navegación que los usuarios tienen que llevar a cabo para realizar sus tareas
- Mantener el texto legible (mejor renderizado, buen contraste con el fondo y no más de 30 grados de inclinación)
- Evitar el desorden visual, las distracciones, los cambios de contraste y los reflejos que sean innecesarios
- Simplificar el movimiento del usuario (mantener los movimientos planos, evitar sorpresas como atravesar paredes)
- Evitar errores (esto es, instrumental quirúrgico que solo corta donde es necesario y equipos químicos que solo producen moléculas realistas y compuestos seguros)
- Simplificar el movimiento de objetos (facilitar el acoplamiento, seguir caminos predecibles, limitar la rotación)
- Organizar grupos de elementos en forma de estructuras alineadas para permitir una búsqueda visual rápida.

- Permitir a los usuarios construir grupos visuales, para favorecer la memorización espacial (colocar elementos en esquinas o zonas oscurecidas)

3. Características 3D ampliadas

- Proporcionar vistas globales de forma que los usuarios puedan ver la idea general (vista plana, vistas agregadas)
- Permitir tele transportación (cambios rápidos de contexto seleccionando un destino en un avista global)
- Ofrecer visión con rayos X para que los usuarios puedan ver dentro de los objetos o a través de ellos
- Proporcionar mantenimiento de la historia (registrar, deshacer, repetir, editar)
- Permitir acciones de usuario ricas sobre los objetos (guardar, copiar, anotar, compartir, enviar)
- Posibilitar la colaboración remota (síncrona y asíncrona)
- Dar a los usuarios el control sobre el texto explicativo (emergente, flotante y consejos en pantalla) y dejarles escoger los detalles bajo demanda
- Ofrecer herramientas para seleccionar, indicar/marcar, y medir.
- Implementar consultas dinámicas para filtrar rápidamente elementos innecesarios.
- Soportar zoom y movimiento semántico (una acción simple trae el objeto al frente y pone de manifiesto mas detalles)
- Permitir varias vistas coordinadas (los usuarios pueden estar en más de un lugar a la vez y pueden ver datos en más de un orden a la vez)
- Desarrollar iconos 3D novedosos que representen conceptos que sean más reconocibles y recordables (Irani y Ware, 2003)

Guías para el diseño de Menús, Formularios y Cuadros de diálogo

A entender de Shneiderman y Plaisant (2006) los menús y los formularios son alternativas atractivas cuando los diseñadores no pueden crear estrategias de manipulación directa apropiadas. Mientras que los primeros sistemas utilizaban menús a pantalla completa con elementos numerados (Figura 16), los menús actuales normalmente están formados por menús emergentes, casillas de selección, botones de opción o enlaces en páginas web, seleccionables mediante click del ratón o toques con el dedo del usuario sobre la pantalla (Figura 17).

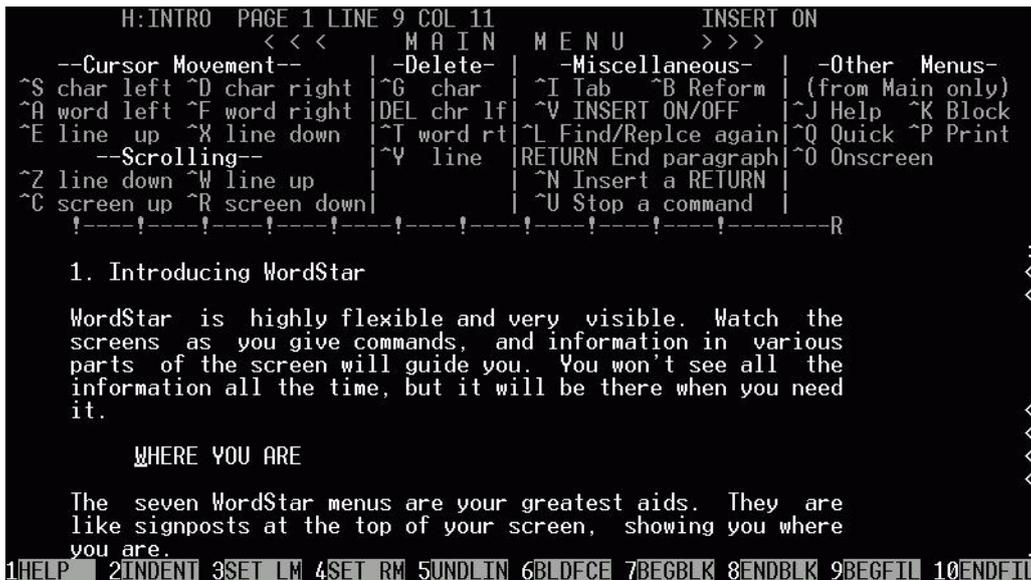


Figura 16. Interfaz de los primeros sistemas representada en la imagen por la interfaz del procesador de textos Wordstar. Fuente: wordstar.org



Figura 17. Interfaz de los sistemas Mac OS actuales. Fuente Apple

Guías para el diseño de menús

- Usar la semántica de la tarea para organizar los menús
- Mejor ancho-superficial que estrecho y profundo
- Mostrar la posición mediante gráficos, números o títulos.
- Usar elementos del menú como títulos para subárboles.
- Agrupar elementos de forma significativa.
- Ordenar elementos de forma significativa.
- Usar elementos breves, comenzar con la palabra clave.
- Usar semántica, composición y terminología consistentes.
- Permitir escritura anticipada, saltos anticipados y otros atajos.
- Permitir saltos a menús anteriores y al menú principal.

- Considerar la ayuda en línea, mecanismos novedosos de selección y tiempos de respuesta, velocidad de refresco y tamaño de pantalla óptimos.

Existen problemas asociados a la redacción de elementos de menú y composición y diseño gráfico, para los cuales Shneiderman y Plainsant (2006) entregan las siguientes recomendaciones:

Guías para mantener la coherencia en la redacción

- Usar terminología familiar y consistente. Seleccionar cuidadosamente la terminología que es familiar para la comunidad de usuarios a la que va dirigido el menú y mantener una lista de esos términos para facilitar el uso consistente.
- Asegurar que los elementos son diferentes unos de otros. Cada elemento debería distinguirse claramente de otros elementos, Por ejemplo, “Recorridos tranquilos por el campo”, “Viajes con visitas a parques”, o “Viajes de placer” con menos distintivos que “Recorridos en bicicleta”, “Visitas en tren a parques nacionales” y “Cruceiros”
- Redacción consistente y precisa. Revisar el conjunto de elementos para asegurar la consistencia y la concisión. Es probable que los usuarios se sientan más cómodos y tengan más éxito con elementos como “Animal”, “Vegetal” y “mineral”. Que con “Información sobre animales”, “Elecciones sobre vegetales que pueden hacer” y “Ver categorías minerales”.
- Poner al principio la palabra clave. Intentar escribir los elementos de menú de tal forma que la primera palabra ayude al usuario a reconocer y discriminar entre elementos, por ejemplo usar “Tamaño de fuente” en vez de “Establecer el tamaño de fuente”. Así, si la primera palabra indica que ese elemento no es relevante, los usuarios pueden comenzar a examinar el siguiente elemento.

Guías para la composición y diseño gráfico de menús

Los diseñadores de menús deberían establecer recomendaciones para la consistencia, de al menos, estos componentes de menú:

- Títulos. Algunas personas prefieren títulos centrados, aunque la alineación a la izquierda es una aproximación aceptable.
- Colocación de elementos. Por lo general, los elementos están alineados a la izquierda, con un número o una letra precediendo a la descripción del elemento. Pueden usarse líneas en blanco para separar grupos significativos de elementos. Si se usan varias columnas debería usarse un patrón consistente de numeración o de letras (por ejemplo, es más fácil examinar por columnas que por filas).
- Instrucciones. Las instrucciones deberían ser idénticas en cada menú y deberían estar puestas en la misma posición. Esta regla incluye instrucciones sobre uso de ayuda, recorridas o teclas de función.
- Mensajes de error. Si los usuarios hacen elecciones incorrectas, los mensajes de error deberían aparecer en una posición consistente, y deberían usar terminología y sintaxis también consistente.
- Informe de estado. Algunos sistemas indican que porción de la estructura del menú se está inspeccionando, que página de la estructura se está viendo actualmente o que elecciones deben hacerse para completar una tarea. Esta información debería aparecer en una posición consistente y debería tener una estructura consistente.

Guías para el diseño de formularios

- Título significativo. Identificar el tema y evitar terminología informática.
- Instrucciones comprensibles. Describir las tareas del usuario usando terminología familiar. Ser breve; si es necesaria más información, crear un conjunto de pantallas de ayuda que estén disponibles para los usuarios principiantes. Para conseguir brevedad, describir solo la acción precisa (“Escribir la dirección” o simplemente “Dirección.”) y evitar pronombres (“Tu Deberías escribir la dirección”) o referencias “al usuario” (“El usuario del formulario debería escribir la dirección”). Otra regla útil es usar la palabra “escribir” para introducir información y “presionar” para teclas especiales como Tab, Enter/Entrar o los cursores. Puesto que “Entrar” a menudo se refiere a la tecla especial, evitar usar esta palabra en las instrucciones (por ejemplo, no usar “Entrar la dirección”, en su lugar usar “Escribir la dirección”). Una vez que se ha desarrollado un estilo gramatical para las instrucciones, hay que ser cuidadoso para aplicarlo de forma consistente.
- Agrupación y ordenación lógica de campos. Los campos relacionados deberían estar adyacentes y alineados con espacios en blanco como separación entre grupos. La ordenación debería reflejar patrones comunes – por ejemplo, ciudad seguida por estado y a continuación código postal.
- Composición del formulario visualmente atractiva. El alineamiento crea una sensación de orden y de comprensibilidad. Por ejemplo, las etiquetas de los campos “Nombre”, “Dirección” y “Ciudad” pueden estar justificadas a la derecha, de forma que los campos de entrada de datos estén alineados verticalmente. Esta distribución permite a los usuarios habituales concentrarse en los campos de entrada e ignorar las etiquetas.
- Etiquetas familiares para los campos. Deberían usarse términos comunes. Si se sustituye “Dirección particular” por “Domicilio”, muchos usuarios se sentirían indecisos o preocupados sobre que dato introducir.
- Terminología y abreviaciones consistentes. Preparar una lista de términos y abreviaciones apropiadas y usar la lista de forma meticulosa, añadiendo elementos solo después de considerarlo cuidadosamente. En vez de varias entre términos como “Dirección”, “Dirección del empleado”, “DIR.” Y “Dir.”, usar un único termino como “Dirección”.
- Espacio y límites visibles para campos de entrada de datos. Los usuarios deberían ser capaces de ver el tamaño del campo y prever si serán necesarias abreviaciones u otras estrategias para recortar el tamaño del texto. En interfaces gráficas un cuadro con el tamaño apropiado puede mostrar la longitud del campo.
- Movimiento adecuado del cursor. Proporcionar un mecanismo simple y visible para mover el cursor entre campos usando el teclado, como la tecla Tab o los cursores.
- Corrección de errores para caracteres individuales y campos enteros. Permitir el uso de la tecla retroceso y la sobre escritura, para dar a los usuarios la posibilidad de hacer arreglos o cambios sencillos en campos completos.
- Prevención de errores. Donde sea posible, evitar que los usuarios introduzcan valores incorrectos. Por ejemplo, en un campo para un entero positivo no permitir que el usuario introduzca letras, signos negativos o puntos decimales.
- Mensajes de error para valores inapropiados. Si los usuarios introducen valores no apropiados, los mensajes de error deberían indicar los valores permitidos para el campo; por ejemplo, si el código postal se introduce como 28K21 o 2380, el mensaje podría ser “Los códigos postales deben tener 5 dígitos”.
- Realimentación inmediata. Para los errores es preferible la realimentación inmediata. Cuando solo puede proporcionarse realimentación después de que se haya enviado el formulario completo, como ocurre cuando se usan formularios en HTML puro, debería hacerse claramente visible la posición de los campos que necesitan correcciones (por

ejemplo, mostrando el mensaje de error en rojo a continuación del campo, además de instrucciones generales en la parte superior del formulario)

- Campos opcionales señalados claramente. La palabra “Opcional” u otros indicadores deberían ser visibles. Siempre que sea posible, los campos opcionales deberían estar a continuación de los campos obligatorios.
- Mensajes aclaratorios para los campos. Si es posible, debería aparecer en una posición estándar información aclaratoria sobre un campo o sobre sus valores permitidos, por ejemplo, cada vez que el curso este en un campo podría aparecer esta información en una ventana que esta a continuación o debajo del campo.
- Señal de terminación. Debería estar claro para los usuarios que deben hacer cuando terminen de rellenar los campos. Por regla general, los diseñadores deberían evitar el envío automático del formulario cuando se rellena el ultimo campo porque es posible que los usuarios deseen revisar o alterar campos anteriores. Cuando el formulario es muy largo pueden facilitarse botones de Enviar en varias partes del formulario.

Guías para el diseño de los mensajes de realimentación

- Ser tan específico y preciso como sea posible
- Ser constructivo: indicar que tiene que hacer el usuario.
- Usar un tono positivo: evitar condenar al usuario
- Considerar múltiples niveles de mensajes
- Mantener consistentes las formas gramaticales, la terminología y las abreviaciones
- Incrementar la atención en el diseño de mensajes. La redacción de los mensajes debería ser considerada de forma cuidadosa, para mejorar tanto la claridad como la consistencia.
- Establecer un control de calidad. Los mensajes deberían ser aprobados por el programador, los usuarios y especialistas en factores humanos.
- Desarrollar guías. Hay que ser tan específico y preciso como sea posible. Escribir buenos mensajes, requiere experiencia, practica y sensibilidad a la reacción del usuario. Aunque la perfección es imposible, la humildad es la marca del verdadero profesional.
- Realizar pruebas de usabilidad. Los mensajes del sistema deberían estar sujetos a una prueba de usabilidad con una comunidad de usuarios apropiada para determinar si son comprensibles.

Guías para la presentación de información

- Asegurarse que cualquier dato que necesite el usuario, en cualquier paso de una secuencia de transacción, estará disponible para ser visualizado.
- Mostrar datos a los usuarios en formas directamente utilizables; no exigir que los usuarios conviertan los datos mostrados.
- Mantener un formato consistente, para cualquier tipo particular de visualización de datos, de una visualización a otra.
- Usar frases cortas y simples.
- Usar declaraciones afirmativas en vez de negativas.
- Adoptar un principio lógico mediante el cual ordenar listas; ordenar las listas alfabéticamente cuando no sea aplicable otro criterio.
- Asegurarse de que las etiquetas están lo suficientemente cerca de sus campos de datos como para indicar que están asociados, pero también asegurarse de que estén separados de sus campos de datos por el menos un espacio.

- Justificar a la izquierda los datos alfabéticos para permitir exploraciones rápidas.
- Etiquetar cada página, en visualizaciones multi-página, para mostrar su relación unas con otras.
- Comenzar cada visualización con un título o cabecera, describiendo brevemente los contenidos o el propósito de la visualización; dejar al menos una línea en blanco entre el título y el cuerpo de la visualización.
- Para realizar codificación de tamaños, hacer que los símbolos más grandes tengan al menos 1,56 veces la altura del siguientes símbolo más pequeño.
- Considerar la codificación por colores en aquellas aplicaciones en las que los usuarios deben distinguir rápidamente entre varias categorías de datos, particularmente cuando los elementos de datos están dispersos sobre la visualización.
- En el caso de una tabla grande que excede la capacidad de un marco de visualización, asegurarse de que los usuarios pueden ver los encabezados de las columnas y etiquetas de las filas en todas las secciones de la tabla visualizada.
- Si es posible que los requisitos de visualización de datos cambien (como suele ser el caso), entonces proporcionar un medio para que los usuarios (o un administrador del sistema) puede hacer los cambios necesarios a las funciones de visualización.

Evaluación del diseño de interfaz

Es importante contar con guías para evaluar el apego del diseño de la interfaz a nuestros objetivos. Además de las etapas de evaluación propias de la ingeniería de software, Shneiderman y Plaisant (2006), sugieren realizar la evaluación durante el uso en producción través del registro continuo de datos del comportamiento del usuario. Indican que la arquitectura del software debería facilitar a los administradores del sistema recopilar datos sobre patrones de uso de interfaz, velocidad de utilización del usuario, porcentajes de errores o frecuencia de peticiones de ayuda en línea. Los datos del registro de actividades proporcionan consejos para la adquisición de nuevo hardware, cambios en los procedimientos de operación, mejoras en la formación, planes de ampliación del sistema, etc. Por ejemplo, si se registra la frecuencia de cada mensaje de error, el error con mayor frecuencia es un candidato para prestarle mayor atención. Este mensaje puede describirse, pueden revisarse los materiales de formación, se puede cambiar el software para que suministre información más específica o puede simplificarse la sintaxis de la orden. Estas herramientas se denominan “software de registro en tiempo de ejecución”, y permiten capturar los patrones de actividad de los usuarios.

Siempre que sea posible, deberían realizarse conteos de frecuencias para cada condición de error, particularmente durante las pruebas de usabilidad. Si es posible, deberían capturarse las acciones de los usuarios para realizar un estudio más detallado. Si se sabe donde encuentran dificultades los usuarios, se pueden revisar los mensajes de error, mejorar la formación, modificar el manual o cambiar la interfaz. Debería usarse el porcentaje de error por cada 1000 acciones como métrica de la calidad de la interfaz y como medidor de cómo afectan las mejoras al rendimiento.

En la actualidad se dispone de tecnologías diversas que podrían ayudar a reducir los porcentajes de error en el ingreso de información, podemos citar como ejemplo la entrada de datos por medio de la conversión o extracción directamente desde la fuente, o el reconocimiento óptico de caracteres de texto o código de barras. Aunque el teclado es el medio más conocido no es el único, la tecnología está al alcance de la mano, es cuestión de estar dispuestos a abrir la mente a nuevas alternativas.

Análisis de la interfaz de los desarrollos del GSG

Retomando nuestro objeto de estudio, recordemos que se trataba de la interfaz hombre-computadora, en particular la relación entre el usuario y los modelos de simulación, en este sentido será de gran valor el análisis que podamos realizar de los desarrollos realizados por el GSG. Dado que ponen a nuestra disposición cientos de trabajos, no es posible abordar un estudio exhaustivo, sino que elegiremos aquellos que tengan mayor afinidad con el objeto de estudio de nuestro centro de investigación, los municipios.

El primer muestreo se orientó a seleccionar aquellos trabajos cuyo destinatario eran los ayuntamientos, nuestro interés particular es caracterizar el perfil del usuario de la administración pública y como el GSG abordó los desarrollos para estos usuarios. El segundo muestreo tenía como objetivo segmentar la muestra obtenida de acuerdo a las edades tecnológicas, para observar la evolución en el diseño de la interfaz y el grado de acercamiento hacia los usuarios. Como resultado de este proceso de selección se obtuvieron tres trabajos, uno denominado “Modelo para la optimización del plan trienal de inversiones” realizado en el año 1985, el segundo denominado “Modelo de priorización de proyectos para ayuntamientos” realizado en el año 1996, y el tercero se denomina “Control del desempleo por ordenador” realizado en el año 1998.

De acuerdo a Shneiderman y Plaisant (2006) a la hora de evaluar una aplicación debe observarse el cumplimiento de objetivos como el tiempo de aprendizaje corto, realización rápida de tareas, porcentaje de errores bajo, facilidad de retención y alta satisfacción del usuario. Primero describiremos las aplicaciones y luego la analizaremos considerando estos criterios y las guías expuestas anteriormente.

Modelo para la optimización del plan trienal de inversiones

El trabajo fue encargado al GSG en el año 1985, por la diputación de Valencia, denominado “Modelo para la optimización del plan trienal de inversiones”, destinado a los ayuntamientos. Su objetivo era brindar asistencia a los órganos de gobierno para la toma de decisiones eficientes.

Aunque no se pudo observar el modelo en funcionamiento, se ha rescatado la forma de interacción con el usuario del manual que acompañaba el modelo. La comunicación con el usuario se realizaba a través de un conjunto de archivos de texto. Es decir, tanto la descripción de variables (Figura 18), el ingreso de información al modelo (Figura 19), como la devolución de los resultados se obtenían en archivos (Figura 20), cuyos nombres, contenido y formato debían ser asignados siguiendo premisas rígidamente definidas.

```

C:\WINDOWS\system32\edit.com
Archivo Edición Buscar Ver Opciones Ayuda
C:\EMPLEO\FICHEROS\UARIABLE\UAREMPL.txt
NCOO IN-mero de cohortes de edad de la poblaci3n!0!0!0!Null!E
NACO IN-mero de a3os de cada cohorte de poblaci3n!0!0!0!Null!E
ADTE!Adquisici3n neta de terrenos y de activos inmateriales (adm.pub)!11!0!0!N
AHBN!Ahorro nacional bruto!0!0!0!Null!S
AHRR!Ahorro bruto (adm.pub)!0!0!0!Null!S
AMDP!Amortizaci3n de la deuda p3blica no asumida por la propia (adm.pub)!11!0!
BNFI!Rentabilidad del a3o anterior!0!0!0!Null!S
CAPI!Capital p3blico inicial!0!0!0!Null!E
CAPU!Capital p3blico!0!0!0!CAPI!S
CCPC!Consumo del capital fijo per c3pita!0!0!0!Null!S
CFDF!Coeficientes de reparto de defunciones por cohortes (NCOO)<3>!11!1!NCOO!N
CFRE!Consumo final nacional!0!0!0!Null!S
CFTE!Consumo final en el territorio econ3mico!0!0!0!Null!S
CNFI!Capacidad o necesidad de financiaci3n (adm.pub)!0!0!0!Null!S
CNFN!Capacidad o necesidad de financiaci3n de la naci3n!0!0!0!Null!S
COCF!Consumo del capital fijo (amortizaciones)!0!0!0!Null!S
COCP!Consumo de capital p3blico fijo (adm.pub)!0!0!0!Null!S
COII!Consumo intermedio total inicial!0!0!0!Null!E
COIN!Consumo intermedio (adm.pub)!11!0!0!Null!E
CONI!Consumo de no residentes en la regi3n inicial!0!0!0!Null!E
CONN!Consumo intermedio total!0!0!0!COII!S
CONO!Consumo de no residentes en la regi3n!0!0!0!CONI!S
F1=Ayuda | L3nea:1 Col:1

```

Figura 18. Archivo de texto del modelo mostrando la descripci3n de variables.

```

C:\WINDOWS\system32\edit.com
Archivo Edici3n Buscar Ver Opciones Ayuda
C:\EMPLEO\FICHEROS\DATOS\Datos10.txt
NCOO!0!0!16
NACO!0!0!5
TAMO!1995!0!0!,86062754094635
TAMO!1996!0!0!,86328000000000
TAMO!1997!0!0!,85857800000000
TAMO!1998!0!0!,85350300000000
TAMO!1999!0!0!,84796800000000
TAMO!2000!0!0!,84198500000000
TAMO!2001!0!0!,83575400000000
TAMO!2002!0!0!,82918800000000
TAMO!2003!0!0!,82238800000000
TAMO!2004!0!0!,81536000000000
TAMO!2005!0!0!,80802000000000
TAMO!2006!0!0!,80055500000000
CROC!1995!1!2!,75264556086389
CROC!1995!2!10!,17441643199935
CROC!1995!3!74!,47890153273536
CROC!1995!4!12!,59405723529651
CROC!1996!1!2!,5583832
CROC!1996!2!10!,037562
CROC!1996!3!75!,221084
CROC!1996!4!12!,232301
F1=Ayuda | L3nea:1 Col:1

```

Figura 19. Archivo de texto del modelo mostrando los valores ingresados para las variables de entrada.

```

C:\WINDOWS\system32\edit.com
Archivo  Edición  Buscar  Ver  Opciones  Ayuda
C:\EMPLEO\FICHEROS\RESULTAD\RESUL10.TXT
PTOT:2000:0:4,046005E+07
COPU:2000:0:7027204
CONO:2000:0:2049100
TOIN:2000:0:8620900
EXPO:2000:0:8827204
XIMP:2000:0:1,0128E+07
XIUA:2000:0:2463111
CPEC:2000:0:0,6552793
CRPC:2000:0:9566,937
CONN:2000:0:3,1151E+07
SUEN:2000:0:757970
SUEM:2000:0:0
REPR:2000:0:7808588
REPP:2000:0:2275489
EMPC:2000:0:2200377
CPRI:2000:0:1,454644E+08
CRNA:2000:1:375546,2
CRNA:2000:2:389637,5
CRNA:2000:3:477684,3
CRNA:2000:4:584950,6
CRNA:2000:5:650398,1
CRNA:2000:6:677308,3
F1=Ayuda | Línea:1 Col:1

```

Figura 20. Archivo de texto del modelo mostrando los valores devueltos para las variables de salida.

Esta forma de relacionarse con el usuario utilizando archivos de texto impone una gran distancia entre la herramienta y el usuario, fijando el nivel del diálogo lejos de una forma intuitiva. Bajo estas condiciones un potencial usuario de la herramienta debería adquirir destrezas en las áreas de estadística, matemática e informática previamente a la utilización de la misma. Lamentablemente no se cuenta con estadísticas respecto a los criterios de evaluación que planteamos, pero una entrevista con Caselles, miembro del GSG y participante del proyecto, nos brinda información. El aprendizaje de uso era un proceso largo, dificultoso, dado que no se desarrollaban capacitaciones, solamente se entregaba la herramienta y un manual de uso. El rol de los desarrolladores a partir de la entrega del producto era pasivo, esperando las consultas de los usuarios. No se cuenta con estadísticas que permitan evaluar la carga de información y el porcentaje de errores. Caselles comenta que el uso de la herramienta no perduró en el tiempo, y los ayuntamientos no demostraron interés.

Estos resultados son congruentes con el pensamiento de la época respecto al diseño de programas, aquí el usuario tenía poca participación, el centro era la computadora y el producto mismo. En consecuencia gran parte de los desarrollos no cumplían las expectativas de los usuarios, algunos era utilizados por razones de fuerza mayor (no existía otra opción) y aquellos que no eran imprescindibles para el desarrollo de las tareas, simplemente caían en desuso.

Modelo de priorización de proyectos para ayuntamientos

El siguiente proyecto, denominado MSG, fue encargado en el año 1996 por la Generalitat Valenciana, cuyo objetivo era desarrollar una herramienta que ayudara a los ayuntamientos a tomar decisiones respecto a la priorización de proyectos. Este modelo responde a los estándares de la época, interactuando con el usuario a través de menús de opciones a las cuales se acceden pulsando una tecla (Figura 21), luego se presenta un resultado u otro menú de opciones (Figura 22).



Figura 21. Menú principal.



Figura 22. Menú ingreso de variables de entrada.

Esta forma de relacionarse con el usuario utilizando menús de texto, representa una evolución respecto al caso analizado anteriormente, facilitando su utilización, a la vez que oculta los detalles estadísticos y matemáticos, permitiendo que un grupo mayor de personas pueda utilizar la herramienta. Aunque en este caso, al igual que el caso anterior, un potencial usuario debería poseer conocimiento en el área de la informática para poder iniciar el programa, cargar los archivos de datos (Figura 23) y desplazarse a través de los menús de opciones.

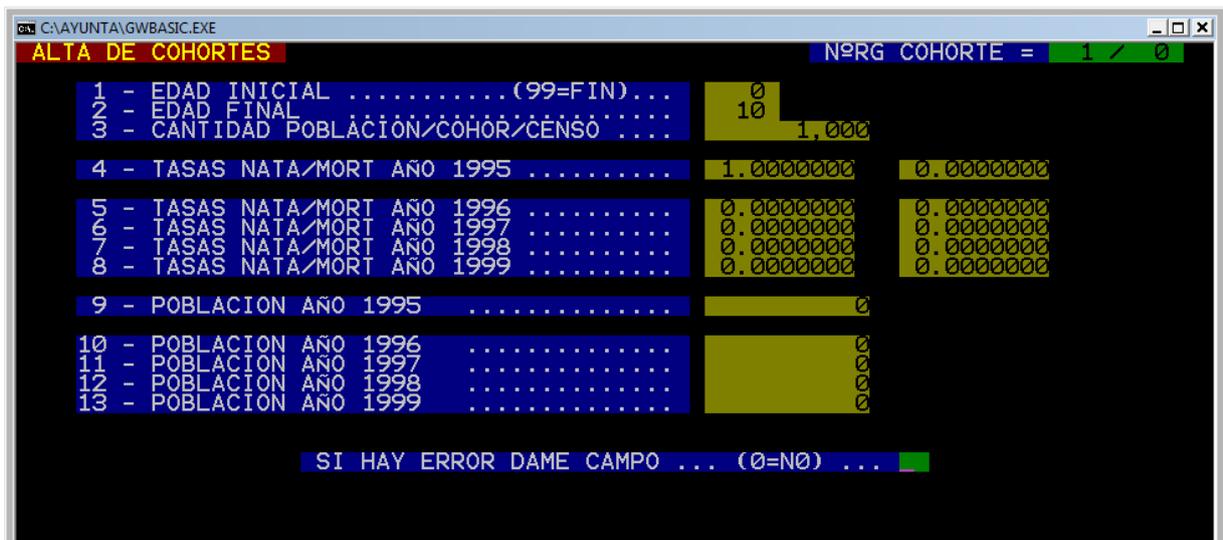


Figura 23. Ingreso de variables de entrada.

Control del desempleo por ordenador

El último desarrollo analizado se denomina control del desempleo por simulación, encargado en el año 1998 por la Generalitat Valenciana para su distribución a los ayuntamientos. En este trabajo se observa un entorno mejorado permitiendo la interacción con la herramienta a través de menús desplegables convenientemente ordenados respetando el procedimiento necesario para arribar al resultado buscado (Figura 24), primero la introducción de datos (Figura 25), luego la simulación para obtener los resultados, y por último el tratamiento y análisis de los resultados (Figura 26).

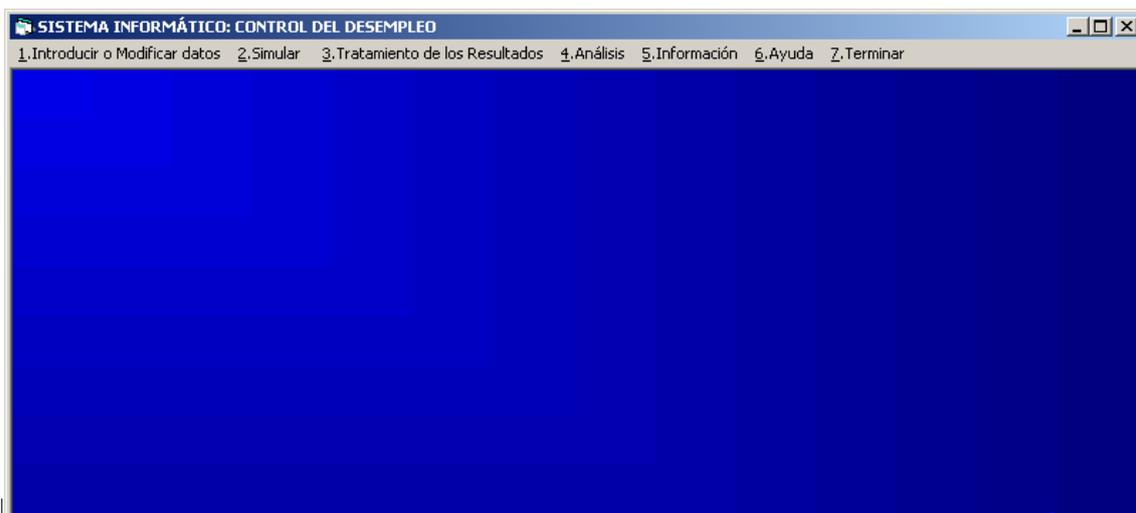


Figura 24. Menú principal.

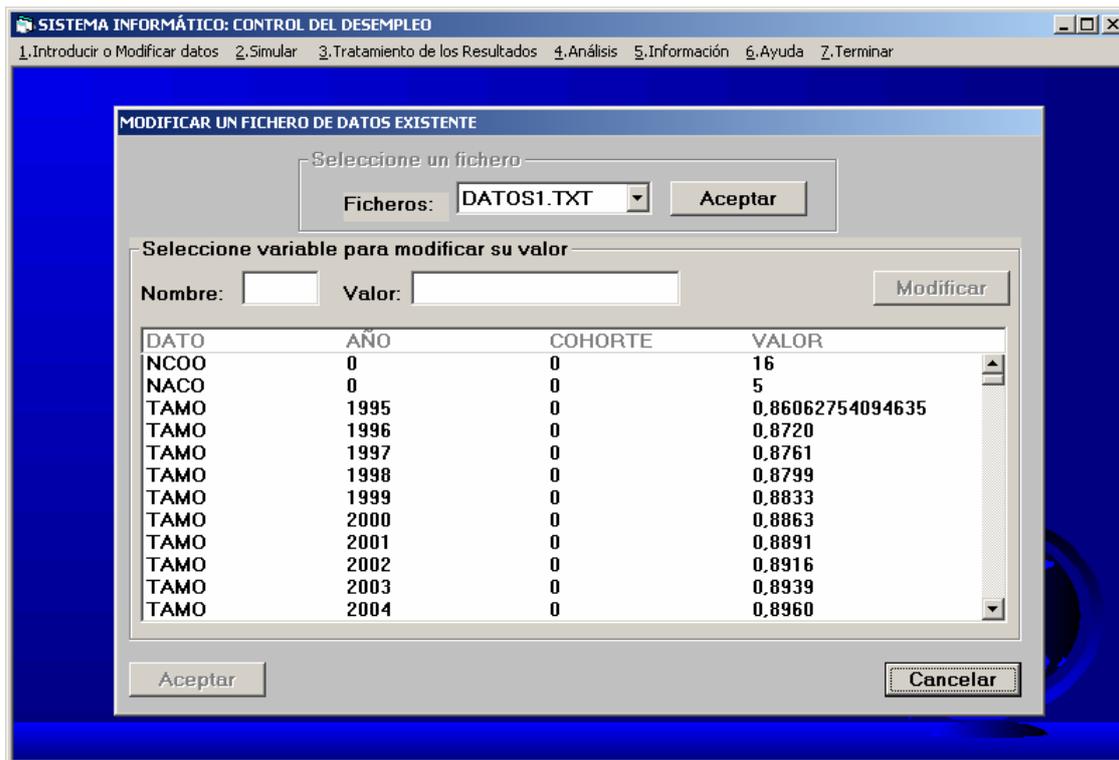


Figura 25. Introducción de datos al modelo

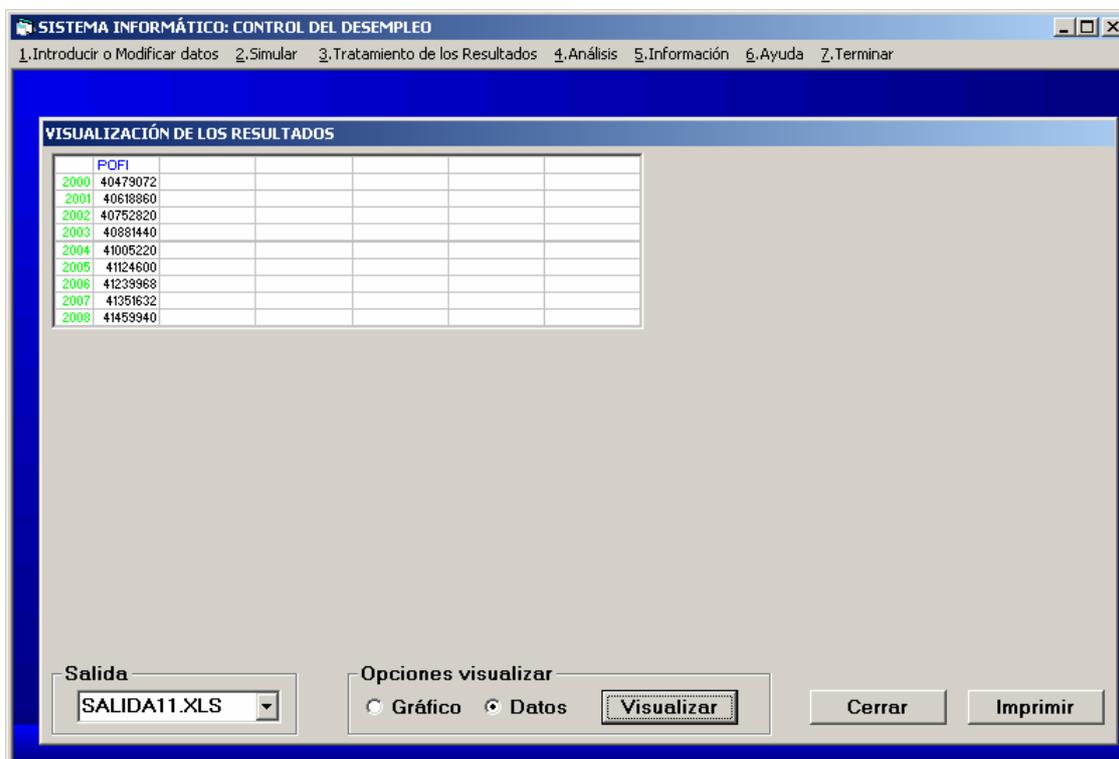


Figura 26. Visualización de resultados.

La herramienta dispone la opción para presentar los resultados en forma grafica (Figura 27), sin necesidad de recurrir a otras aplicaciones. El formato grafico es una gran ayuda al momento de comunicar e interpretar los resultados.

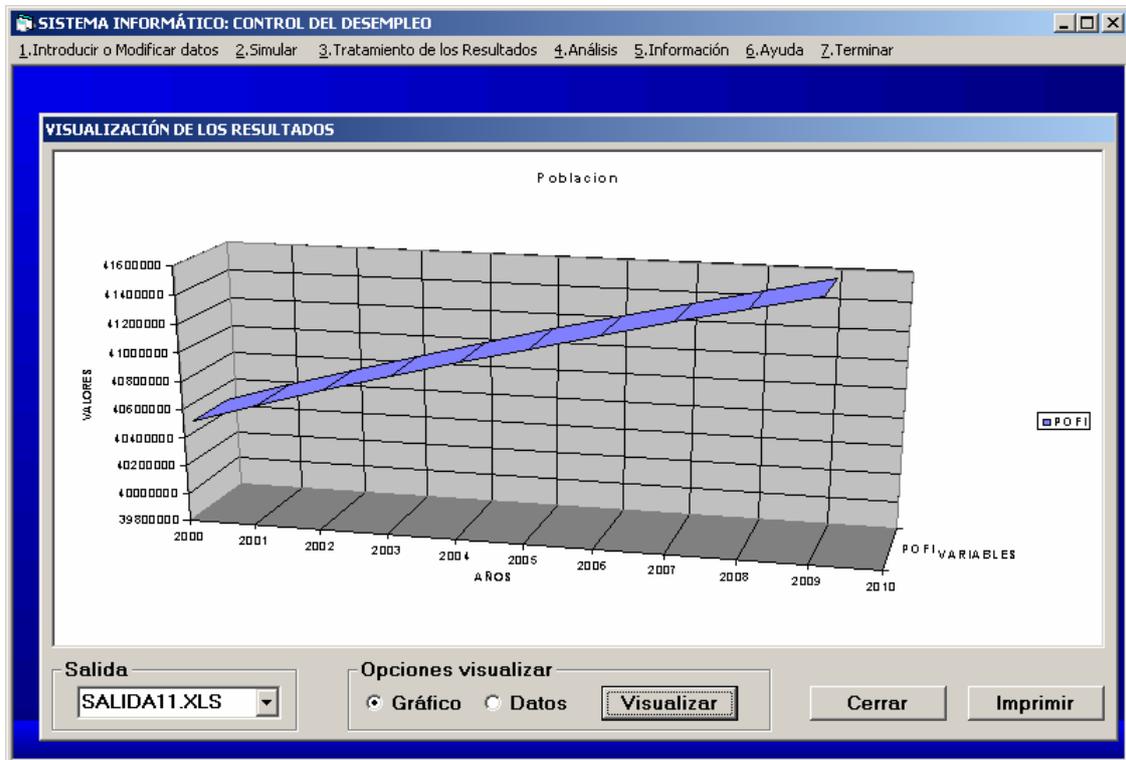


Figura 27. Visualización de resultados en forma gráfica

Se destaca la posibilidad de poder recurrir a ayuda sobre la utilización del programa (Figura 28).

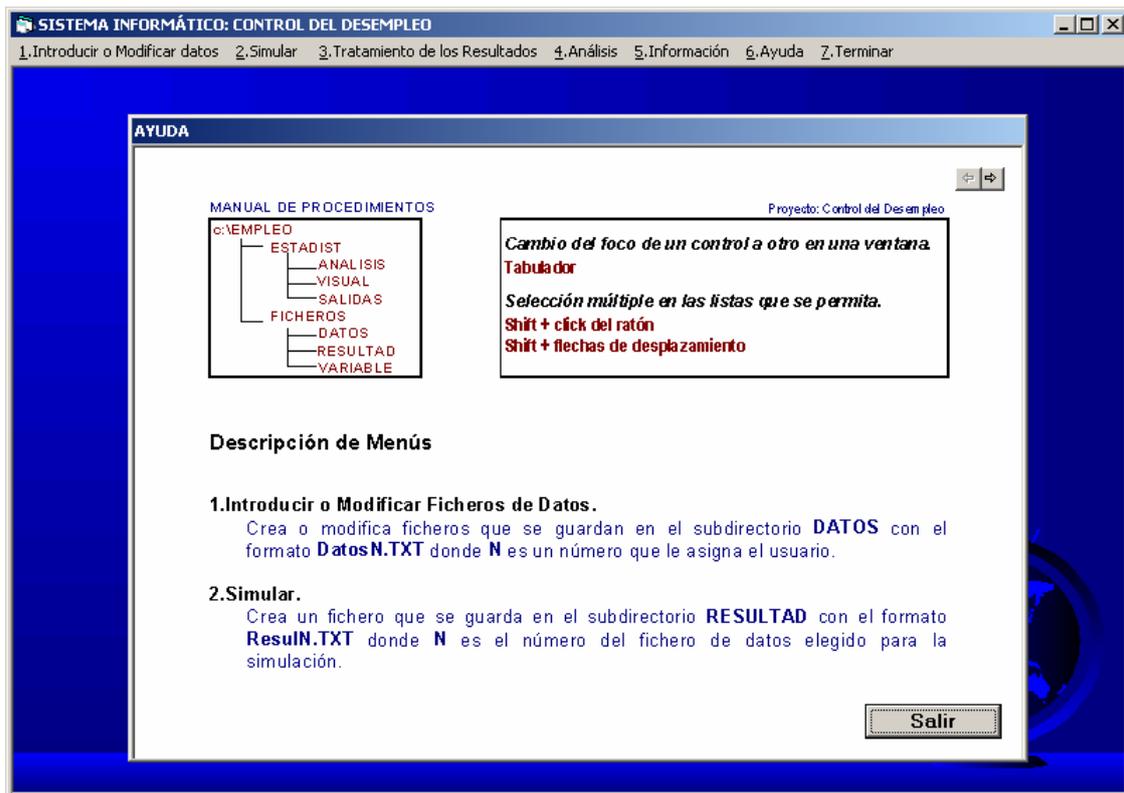


Figura 28. Presentación de ayuda para el usuario

Este desarrollo presenta un salto en la evolución de la interfaz de los modelos de simulación desarrollados por el GSG, realizando un nuevo acercamiento del modelo al usuario. En este caso tanto las cuestiones estadísticas, matemáticas y el acceso a los archivos de datos y de resultados son totalmente transparentes para el usuario. Si bien el nivel de informática que requiere un usuario para utilizar el modelo es menor que el caso anterior, situándolo en un nivel intermedio, aun se requiere este conocimiento para que un usuario se sienta cómodo con su utilización.

De acuerdo a lo que manifiesta Caselles, integrante del grupo de desarrollo del proyecto, el tiempo de aprendizaje es menor que en los casos anteriores, pero lamentablemente no contamos con estadísticas respecto al porcentaje de errores, facilidad de retención y satisfacción del usuario. Aunque este modelo se acercó más al usuario, su uso tampoco ha perdurado en el tiempo.

Los tres modelos desarrollados por el GSG, correspondientes a tres periodos evolutivos de la informática, han corrido la misma suerte, sufriendo el desuso y cayendo en el olvido. Tanto tiempo y esfuerzo dilapidado por el grupo encargado del desarrollo, sufriendo una sensación de fracaso en el logro del objetivo. La interfaz en cada caso respondía a los estándares del momento, en la actualidad las condiciones para lograr un acercamiento mayor del modelo al usuario son más favorables, las computadoras son elementos familiares en los ambientes de trabajo y en el hogar, existen grupos de investigadores preocupados por el desarrollo de lineamientos para favorecer la usabilidad de las herramientas informáticas, rompiendo con el modelo antiguo de interacción centrada en la computadora e impulsando un nuevo paradigma centrado en el usuario, estudiando las estrategias para lograr una interacción persona-computadora efectiva.

Pero comprendamos, que si bien el acercamiento es un factor importante, un factor determinante para el éxito o el fracaso de un proyecto, es el nivel de implicación de los usuarios en el desarrollo, y el conocimiento que se tenga de su entorno, preferencias y capacidades. La transferencia en todos los casos se debe realizar de una manera activa, no basta con entregar el producto final y un manual de usuario o ayuda en línea y la buena disposición para evacuar las consultas que pudieran sugerir. Tanto esfuerzo en la etapa de desarrollo justifica un esfuerzo equivalente en la etapa de transferencia, se debe interesar y capacitar al usuario en el uso, acompañarlo en cada paso, estar atentos a los cambios y mejorar la herramienta consecuentemente para mantener el nivel de satisfacción del usuario.

Conclusiones

Aprender cualquier cosa es un reto. Aunque los retos pueden ser entretenidos y satisfactorios, cuando se trata del aprendizaje de sistemas informáticos, muchas personas experimentan ansiedad, frustración y decepción. Gran parte de la dificultad procede directamente del mal diseño de menús, pantallas o instrucciones, que conducen a errores y a confusión o simplemente a la incapacidad de los usuarios para determinar de manera sencilla que hacer a continuación dado que no cuentan con una retroalimentación a adecuada acerca del problema.

Caselles (2008), menciona que el proceso completo de modelización podría ser realizado dentro de un entorno informático y visualiza un futuro en el cual las interfaces que usarán el lenguaje natural guiarán el proceso completo. Aunque, a entender de Shneiderman y Plaisant (2006), incluso cuando los problemas técnicos se están resolviendo y los algoritmos de reconocimiento están mejorando, los diseñadores están reconociendo que ejecutar ordenes con la voz exige más memoria operativa por parte de los usuarios que la coordinación ojo/mano, y por lo tanto puede interrumpir mas a los usuarios mientras están llevando a cabo sus tareas; además la interacción en lenguaje natural normalmente proporciona poco contexto para emitir la siguiente orden, con frecuencia necesita un dialogo de aclaración y puede ser más lenta y más incómoda que otras alternativas como la manipulación directa.

Además de las etapas clásicas de análisis, diseño e implementación, deberemos incorporar etapas de pruebas de usabilidad e involucrar en el proceso de diseño a especialistas en factores humanos. Cuando la interfaz se implemente, es importante realizar la recogida de datos de uso, estadísticas de error y reacciones subjetivas para guiar las mejoras. En cada etapa, deberemos considerar la plasticidad de la interfaz, para tener éxito con usuarios de diferentes niveles de habilidad y diferentes capacidades.

Todos los esfuerzos de investigación y desarrollo, deben estar dirigidos a reducir la brecha de ejecución (la discrepancia entre las intenciones del usuario y las acciones permitidas) y la brecha de evaluación (la discrepancia entre la representación del sistema y las expectativas del usuario).

Shneiderman y Plaisant (2006) plantean las siguientes direcciones productivas para el estudio de la interacción persona – computadora:

- Reducir la ansiedad y el miedo al uso de la computadora. Se debería estudiar a las personas que no son usuarios de computadoras para determinar las fuentes de ansiedad o preocupación y formular guías de diseño para mitigar el miedo.
- Evolución natural. Se debería brindar métodos para suavizar la transición desde principiante hasta usuario con conocimientos y finalmente a experto.

- Especificación e implementación de la interacción. Estudiar las herramientas disponibles para la construcción de interfaces de usuario.
- Manipulación directa. Estudiar las nuevas formas de manipulación directa, tales como los lenguajes visuales, la visualización de la información, la tele presencia y la realidad virtual.
- Dispositivos de entrada. Estudiar la adaptación de los nuevos dispositivos, tales como, las pantallas táctiles, la entrada mediante lápiz, voz, movimiento ocular y gestual; el ratón, y los dispositivos hápticos.
- Ayuda en línea. Estudiar el rol de estas ayudas, el éxito y satisfacción para principiantes, usuarios con conocimientos y para expertos.
- Análisis de la información. El aumento de la disponibilidad de información, requerirá estrategias y herramientas de visualización de la información más efectivas.

Hay una gran sed de conocimientos sobre herramientas de construcción de interfaces de usuario, guías de diseño y técnicas de pruebas. Las herramientas proporcionan soporte para el prototipado rápido y para el desarrollo de la interfaz, al tiempo que contribuyen a la consistencia del diseño, soportan la usabilidad universal y simplifican el refinamiento evolutivo.

Citando a Mumford (Ciencia, técnica y civilización, 1934) “La verdadera cuestión ante nosotros está ahí: ¿estos aparatos facilitarán la vida y mejorarán sus valores, o no?”

Las interfaces no deben alabar, ni culpar a los usuarios, solo proporcionar realimentación comprensible, de forma que los usuarios puedan avanzar en la realización de sus tareas.

La clave para diseñar pantallas efectivas es el conocimiento de las tareas y el perfil de usuario definido por el entorno, las preferencias y sus capacidades, inmerso en un proceso de mejora continua auxiliado por métricas objetivas y evaluación permanente. Los mensajes mejorados serán los beneficios más grandes para los usuarios principiantes, aunque el resto también se beneficiará. A medida que proliferen los ejemplos de excelencia, las interfaces complejas y duras estarán cada vez más fuera de lugar. Los entornos rudimentarios del pasado serán reemplazados gradualmente por interfaces diseñadas con los usuarios en mente, haciendo que el uso de los modelos de simulación sea una oportunidad satisfactoria en lugar de un reto frustrante, elevando las capacidades de los agentes municipales en lugar de disminuirlos.

Referencias Bibliográficas

Balci, O. (1986), "Requirements for model development techniques", *Computers and Operations Research* 13, N.1, pp 53-67.

Caselles y otros, (1985), “Manual de usuario del programa informático “Modelo para la optimización del plan trienal de inversiones de la Diputación Provincial de Valencia”

Caselles, A., (1992), “Simulation of Large Scale Stochastic Systems”. In *Cybernetics and Systems'92*, R. Trappl (Ed.). World Scientific, pp. 221-228.

Caselles, A., (1993), "Systems Decomposition and coupling". *Cybernetics and Systems: An International journal*", 24, pp. 305-323.

Caselles, A., (1994), "Improvements in the Systems based Programme Generator SIGEM". *Cybernetics and Systems: An International journal*", 25, pp. 81-103.

Caselles y otros, (1996), “Programa informático Modelo de priorización de proyectos para ayuntamientos”.

Caselles, Antonio; Ferrer, Lorenzo; Martínez de Lejarza, Ignacio; Pla, Rafael; Temre, Rachid. (1999). Control del desempleo por simulación. Ed. Universidad de Valencia.

Caselles Moncho, Antonio, (2008), “Modelización y Simulación de sistemas complejos”. Ed. Universidad de Valencia.

Forrester, J., (1961), “Industrial Dynamics”. M.I.T. Press.

Forrester, J., (1966), Principles of Systems. M.I.T. Press.

Gaines, Brian R, (1981), 133-150, “The technology of interaction: Dialogue programming rules, International Journal of Man-Machine Studies”.

Heckel, Paul, (1991), “The elements of friendly Software design: The new edition”, SYBEX, San Francisco, CA.

Hutchins, Edwin L., Hollan, James D., and Norman, Don A., (1986), 87-124, “Direct manipulation interfaces”, in Norman, don A. and Draper, Stephen W. (Editors), “User Centered Systems Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction”, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.

Irani, Pourand and Ware, Colin, (2003), 1-19, “Diagramming information structures usign 3D perceptual primitives”, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 10,1, ACM, NJ.

Mathewson, S.C., (1989), "The implementation of Simulation languages". In M. Pidd (ed), Computer Modelling and Simulation. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

Morecroft, J.D.W., (1982), “A critical Review of diagramming tools for conceptualizing feedback system models”. Dynamics, vol. 8, part. 1, pp 20-29.

Shneiderman, Ben, (1982), 55-78, “System message design: Guidelines and experimental results”, in Badre, A. and Shneiderman, B. (Editors), “Directions in Human-Computer Interaction”, Ablex, Norwood, NJ.

Shneiderman, Ben, (2002), “Leonardo' Laptop: Human Needs and the new computing Technologies”. MIT Press, Cambridge, MA.

Shneiderman, Ben, Plaisant, Catherine, (2006), “Diseño de interfaces de usuario: Estrategias para una interacción-persona computadora efectiva”, 4ta. Edición. Ed. Pearson.

Torres Sanchez, Fernandez Arturo, (2008), “III Congreso Centroamericano y del Caribe de Administración de Proyectos”.

Zhang, S.H., Schroer, B.J., Messimer, S.L., and Tseng, F.T., (1990), "Software Engineering and Simulation". Third Inc. Sof. for Strat. Synth. Conf. Proc., pp. 33-42. University of Alabama.

ANEXO I

Estrategias para prevenir los problemas de la información y reducir sus efectos

Estas estrategias abarcan no solo aspectos relacionados con el diseño de interfaz en sí, sino con el sistema, contemplando al usuario y su entorno.

- **Diseño participativo centrado en las personas.** Concentrar la atención sobre los usuarios y las tareas que deben llevar a cabo. Hacer a los usuarios el centro de atención, incluirlos en el proceso de diseño y crear sentimientos de competencia, dominio, claridad y previsibilidad. Crear árboles de menú bien organizados, presentar instrucciones y mensajes concretos y constructivos, desarrollar visualizaciones comprensibles, ofrecer realimentación informativa, permitir una gestión de errores fácil, asegurar un tiempo de respuesta adecuado y crear materiales de aprendizaje comprensibles.
- **Soporte organizacional.** Más allá del diseño de interfaces, la organización debe dar soporte a los usuarios, y brindar las condiciones necesarias para aplicar el diseño participativo, de forma que los diseñadores obtengan evaluaciones y realimentación frecuente por parte de los usuarios. Las técnicas incluyen entrevistas personales, reuniones en grupo, encuestas en línea, cuestionarios en papel, comunidades en línea, consultores en línea y buzones de sugerencias. Estas tareas insumen tiempo, que los usuarios deben dedicar restando al que disponen para el desarrollo de sus tareas habituales.
- **Diseño de empleo.** Se debería contar con reglas que prevengan que los usuarios de computadoras se agoten, sientan estrés, o se quemen, provocando todo esto por una explotación laboral electrónica. Las reglas podrían establecer un límite en el número de horas de uso, garantizar periodos de descanso, facilitar la rotación laboral y dar soporte a la educación. De igual forma, medidas consensuadas de productividad o porcentaje de error pueden ayudar a recompensar a trabajadores ejemplares o guiar la formación.
- **Educación.** La complejidad de la vida moderna y de las interfaces de usuario hace que la educación sea crítica. Escuelas, organismos, juegan un papel en la formación. Debería ponerse atención especial a la educación continuada y formación en el propio trabajo.
- **Realimentación y recompensa.** Las comunidades de usuarios pueden ser algo más que observadores pasivos. Pueden asegurar que los fallos del sistema se informan, que las mejoras en el diseño se transmiten a los directivos y diseñadores, y que los manuales y ayudas en línea se revisan.
- **Investigación avanzada.** Individuos, organizaciones y gobiernos pueden dar soporte a la investigación para desarrollar ideas novedosas, minimizar los riesgos y difundir las ventajas de los sistemas interactivos. Teorías de comportamiento cognitivo del usuario, diferencias individuales, adquisición de habilidades, percepción visual y cambio organizacional podrían ser útiles a la hora de guiar a diseñadores e implementadores.

Modelización de un sistema que represente el impacto de diferentes campañas publicitarias, orientadas a la concientización de la población, en la reducción del Consumo de Agua y en la Reparación de Pérdidas Domiciliarias

**Roberto LELL; Luis PORCARO; Carlos SEDANO; Nora TRUJILLO; José ZUFIAURRE;
Antonio CASELLES**

Índice

Resumen.....	3
Introducció.....	5
Aspectos metodològics.....	9
Hipòtesis.....	10
Tabla de variables intervinientes.....	11
Archivo “L” sigem.....	13
Archivo “G” sigem.....	14
Detalle de componentes gasto-pérdidas.....	15
Diagrama de Forrester.....	16
Resultados esperados.....	17
Escenarios/estrategias.....	18
Variables graficadas.....	21
Conclusiones.....	25
Bibliografía.....	26
Anexo tablas.....	27

“El agua es el vehículo de la naturaleza”

Leonardo di Ser Piero da Vinci (1452 – 1519).

Resumen

En el mundo, sólo un 2.8 % del agua es apta para el consumo humano y de éste porcentaje, el 1.8 % se encuentra alojado en los polos en forma sólida. Entendiendo esto, el *World Water Development Report* de la UNESCO, indica que en los próximos 20 años, la cantidad de agua disponible decrecerá en un 30 %². Es importante destacar que actualmente no se conoce ninguna forma de vida que tenga lugar en la ausencia completa del agua. Asumiendo dicha importancia, y el grado de responsabilidad explícito que ello implica, a todos y cada uno de los actores de la sociedad, en la preservación de la más importante fuente de vida, resulta imperioso el abordaje de Políticas de Acción centradas en la Gestión Sustentable del Agua.

En la localidad de Paraná, situada en la Mesopotámica Provincia de Entre Ríos, Argentina, con una población de aproximadamente 276.160 habitantes³ y, como el resto del País, con un promedio de consumo de agua potable alrededor de los 300 Litros por habitante por día⁴, resultando en un consumo diario de 82.848.000 litros. Las pérdidas, por fallas y roturas, rondan el 38 % del total de la producción, es decir 183,8 litros por habitante por día, aproximadamente 50.777.806 litros de agua potable por día. Si pudiéramos, de alguna forma, tender a cero dichos porcentajes de pérdidas, se podría abastecer a 169.000 habitantes.

Debido a esto, se ha decidido realizar un modelo que permita el Análisis del Impacto de la Publicidad respecto al Consumo y las Pérdidas de agua, influyendo éstos en forma directa en el Consumo Total de agua.

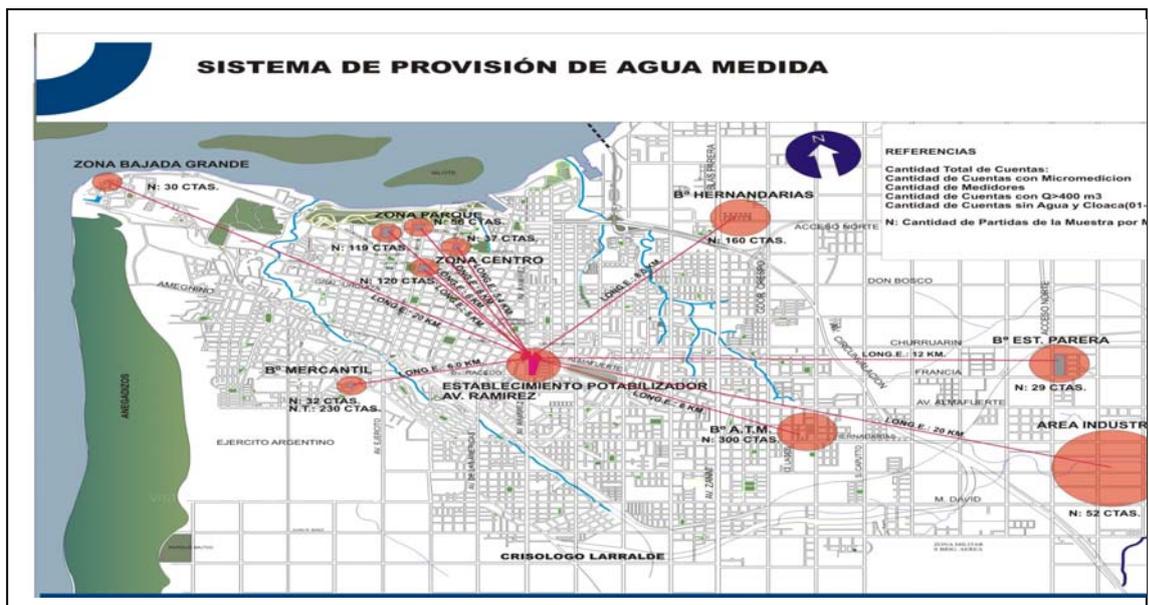
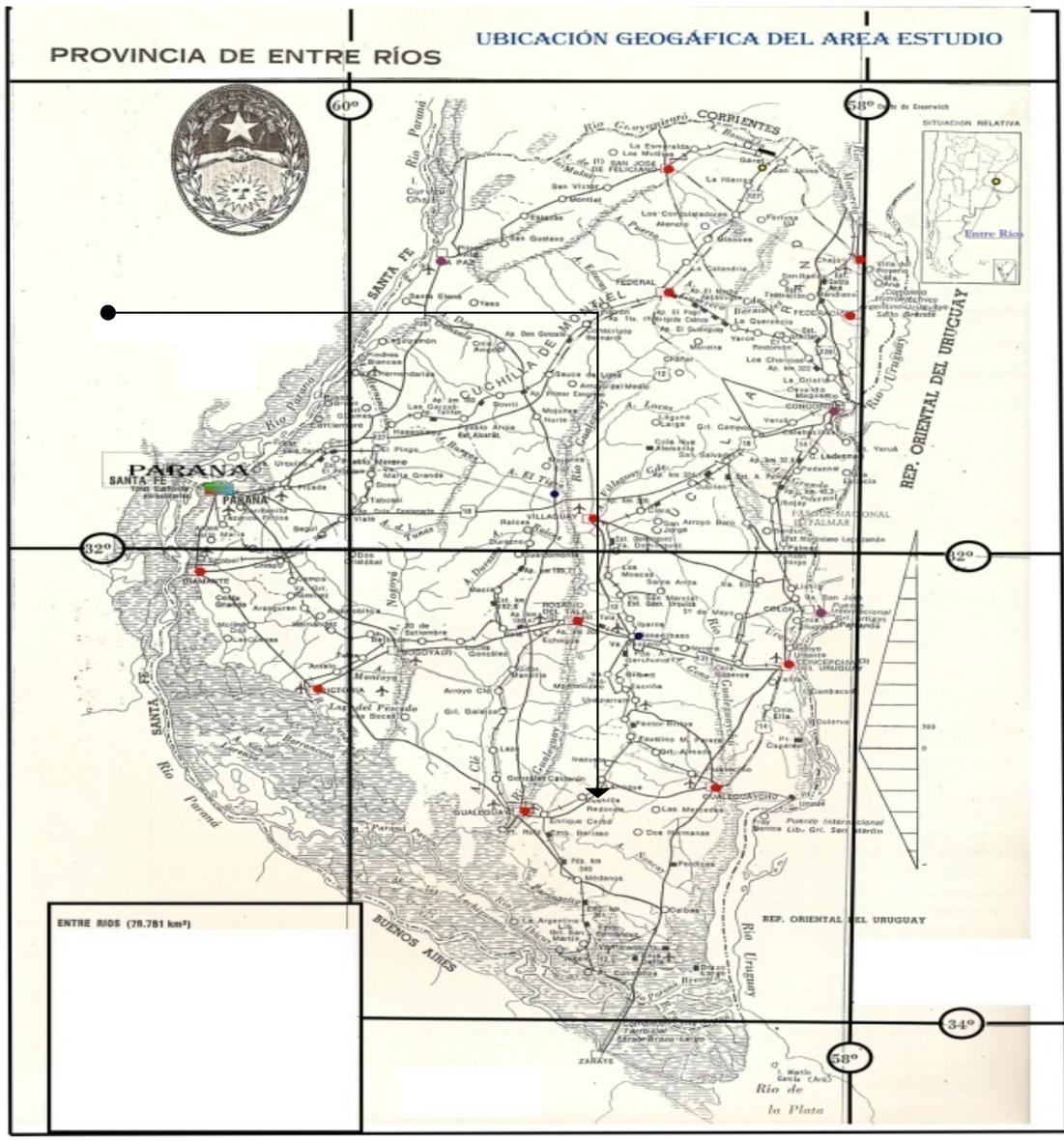
DATOS DE LA CIUDAD DE PARANÁ

POBLACIÓN ACTUAL: 276.160 habitantes (según Censo 2004)	
COBERTURA DEL AGUA POTABLE:	95% (Definición Amplia) Año 2004
COBERTURA DEL ALCANTARILLADO:	71.8% (Definición Amplia) Año 2004
USO DE AGUA PROMEDIO (l/hab *día) :	290
PÉRDIDAS POR FUGAS EN REDES MAESTRAS Y SECUND: 38%	
TARIFA PROMEDIO DE AGUA DOMICILIARIA HASTA 20 m3: US\$ 0.33	
MÁS DE 20 m3: US\$ 0.40	
PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE PER CÁPITA: 480 (lt/hab*día)	
CANTIDAD DE CTAS. :	79.795
CANT. DE CUENTAS CON MEDICIÓN:	10.131
CANTIDAD DE MEDIDORES:	7.352
CONSUMO PROMEDIO MICROMEDIDO:	365.74 (lt/hab*día)

² <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>

³ Fuente: Censo 2004 - Ministerio del Interior – Presidencia de la Nación.

⁴ Fuente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable - Presidencia de la Nación



INTRODUCCION

El modelo de simulación por ordenador desarrollado, tiene por **objetivo principal** simular, bajo diferentes estrategias, el efecto de las campañas publicitarias sobre el uso del agua domiciliaria en la ciudad de Paraná, asumiendo que se logrará una disminución del consumo. Particularmente se pretende dirigir un mensaje de concientización al usuario, atinente a lograr una disminución para reducir las pérdidas y el sobre consumo de agua, en pos de garantizar la dotación para una mejor sustentabilidad del servicio y economía en la explotación del recurso hídrico disponible.

Las pérdidas de agua dentro de las viviendas impactan sensiblemente dentro de la demanda total, estando ello relacionado por diversos factores, entre los más ponderables se pueden citar las unidades sanitarias dañadas o en mal estado de conservación (bidet, grifería, lavarropas, etc.), red interna, etc.

La racionalización del consumo y la reducción de los costos operativos, es el **objetivo secundario** que se persigue mediante una Gestión Sostenible del Uso del Agua y para ello se determinó, como una primera etapa de acción, ejecutar un modelo de simulación en el cual se proyectan campañas publicitarias dirigidas al usuario, con un enfoque informativo-educativo, a fin de lograr que el consumidor sea más eficiente en la utilización del agua. El alcance de este modelo es hasta la etapa de construcción del simulador, pretendiéndose su posterior validación.

La información general y datos específicos para la alimentación del modelo, es obtenida mediante, distintas fuentes, entre las que podemos mencionar: encuestas desarrolladas a nivel de usuario domiciliario (valores utilizados para el diseño de la Nueva Planta Potabilizadora, actualmente en período de prueba), valores de las Normas de OSN, sistema de micro medición, etc.

El resultado esperado de la ejecución del modelo de simulación es la definición de estrategias publicitarias que permitan, con el menor retardo de tiempo, alcanzar el mayor efecto en la reducción del Consumo Total.

Es importante destacar que en todo sistema de abastecimiento público de agua, como en la Ciudad de Paraná, se presentan deficiencias operativas, tecnológicas, administrativas, etc. Cada una de ellas requiere ser abordada de un modo específico. En este caso se trata de controlar una variable externa al sistema de abastecimiento, que es el consumo dentro de la propiedad privada, cuyo acceso a la información depende de la interrelación entre el prestatario del servicio y el usuario destinatario del agua. Para ello se prevé utilizar la técnica de la modelización como herramienta clave para el análisis y conocimiento de situaciones desconocidas, pero que sin duda forma parte de un escenario dinámico que puede resumirse en dos hechos fundamentales. “El Consumo de Agua es directamente proporcional al aumento de la población”. De esta premisa surge otra “Las Pérdidas, también, son directamente proporcionales al aumento de la Población” y por error muchas veces las pérdidas se integran al gasto como una sola variable.

Para ello se tomó, entre otras, como información referencial, la encuesta realizada en la Ciudad de Paraná, tipificando la vivienda y el número promedio de integrantes convivientes. De dicha encuesta surgen dos subsistemas que están relacionados, por un lado con el gasto (GAST) y por otro lado, con las pérdidas (PERD). Sobre la base de ambos, se plantea el presente modelo de simulación considerando como sistema el núcleo familiar (HABI).

La interrelación de los subsistemas, conectado al sistema (HABI) permitió el armado de un diagrama de flujo, conformado por dos grupos de variables que analizan en forma directa, por una parte el gasto y por otra parte las pérdidas. Del análisis pormenorizado de cada variable y su interrelación dentro de este diagrama, se deduce que algunas de ellas están afectadas por la estacionalidad y otras son más o menos constantes en el año, aunque evolucionan con el

confort y calidad de vida. En la localidad, no ha existido, ni existe actualmente, una Política de Gestión que contemple premios fiscales, o de cualquier otro tipo al usuario final, de igual manera, no existen programas de educación a nivel escolar, de concientización al usuario, etc., que fomenten la conciencia social de este Principal Recurso Natural NO RENOVABLE como es el agua, lo cual ha hecho de ello casi una cultura del “derroche” del citado recurso, en contrapartida, los servicios de abastecimientos ya obsoletos, sin el adecuado mantenimiento y la permanente ampliación de la red hacia la periferia de la planta urbana, indican que el servicio de abastecimiento en la ciudad de Paraná se encuentra actualmente en una situación verdaderamente crítica. Actualmente, se ha desarrollado una planta potabilizadora para suplir el mencionado déficit de abastecimiento, la cual, por cuestiones técnicas, se encuentra en período de prueba, resultando de las primeras pruebas, que el sistema de producción funciona aparentemente bien, pero con muchos inconvenientes técnicos en las redes de agua, tanto nuevas como aquellas que están al límite de su vida útil. Siendo la única alternativa de solución coyuntural, pero sumamente necesario, aún en las mejores condiciones de oferta y abastecimiento, la implementación de Políticas de Gestión Sustentable del Ciclo del Agua, motivo por el cual, resulta imperioso la evaluación de posibles estrategias a fin de evaluar sus resultados, previos a su implementación.

A fin de concretar la Estrategia descrita precedentemente, y procurando poder modelizar la actual situación de la Ciudad de Paraná, debemos considerar por válidos, la información obtenida de diferentes fuentes de Datos, que revisten trascendencia a nivel Nacional e Internacional.

Del mismo, podemos asumir los siguientes valores de Consumo:

- Consumo por habitante por día: 300 Litros.
- Lavado de Auto en Casa (Por Lavado): 200 Litros.
- Ducha de 5 minutos (Por Ducha): 70 a 140 Litros.
- Descarga de inodoro (Por Descarga): 20 a 25 Litros.
- Lavado de Manos (Por Lavado): 1.5 Litros.
- Lavarropas (Por Ciclo de Lavado): 100 Litros.
- Consumo Familiar Diario (Promedio): 1200 Litros.
- Lavado de Vajilla (Por Ciclo de Lavado): 30 Litros.
- Riego con manguera (Por Ciclo de Riego): 300 Litros por hora.

De igual manera, se describen los siguientes valores asumidos para las Pérdidas por Instalaciones defectuosas, estandarizadas de diferentes artefactos domiciliarios, de acuerdo lo establecido por Obras Sanitarias de la Nación:

- Canilla goteando: 46 litros por día (pérdida mínima).
- Canilla con apertura pequeña: 2.000 litros por día.
- Canilla con apertura grande: 15.000 litros por día.
- Inodoro con pérdida continua: 4.500 litros por día.
- Tanque cisterna (pérdida máxima): 15.000 litros por día.
- Tanque de agua con pérdida mínima continua: 2.500 litros por día.

Con estos valores, se pretende modelizar un sistema mediante el cual se represente el impacto de diferentes campañas publicitarias, orientadas a la concientización de la población en la reducción del Consumo de Agua y en la Reparación de Pérdidas, ambas estrategias tendientes a disminuir el incremento del Consumo Total de Agua.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología utilizada fue la recolección, análisis y procesamiento de datos cuantitativos. Para dicha tarea, hemos contado con diferentes fuentes de datos, las cuales se han filtrado considerando su confiabilidad, motivo por el cual se procedió a cruzar información estadística proveniente de, por ejemplo, la Secretaria de Ambiente, el Ministerio del Interior -ambos pertenecientes a la Presidencia de la Nación-, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos -perteneciente al Ministerio de Economía de la Nación-, y del **Centro para la Gestión Local Sostenible del Agua y del Hábitat Humano -perteneciente a la Universidad Autónoma de Entre Ríos - Argentina.**

Una vez que la información fue procesada, se implementó la Técnica de Brainstorming, entre los diferentes integrantes del grupo de trabajo, a fin de definir el diagrama Hidrodinámico o de Forrester.

De igual manera, se implementó el método Delphi para el desarrollo y puesta a punto del Modelo.

Para su implementación, se utilizó el Sistema SIGEM, Sistema Generador de Modelos Informatizados, desarrollado por el Dr. Antonio Caselles Moncho, (Caselles 1994 y 1998), diseñado en el Grupo de Sistemas del Departamento de Matemática Aplicada de la Universitat de Valencia.

El período consignado para el presente análisis es de 24 meses a partir de los datos iniciales.

HIPÓTESIS

Es posible la implementación de una Política de Gestión, mediante la cual, con ayuda de campañas publicitarias, se logre la concientización de la población esperando como resultados la reducción del Consumo de Agua y de las pérdidas a través de la Reparación de los Electrodomésticos y mejoras en la red de agua domiciliaria; ambas estrategias tendientes a disminuir el incremento del Consumo Total de Agua.

Dicha Política, Puede modelizarse a fin de medir su resultado presunto - Los valores obtenidos se pueden cuantificar, definiendo la relación Costo / Beneficio.

TABLA DE VARIABLES INTERVINIENTES y sus interrelaciones.

(Esta es una primera aproximación, previa a la escritura de los ficheros “L” y “G” de variables y de funciones que leerá SIGEM).

SIMBOLO	VARIABLE	NOMBRE	CALCULO DE SU VALOR	EXPLICACIONES
	HABI	(Número de habitante por vivienda)	DATO = 4 habitante en la vivienda	Valor medio ponderado que resulta de la encuesta a hogares
	GAST	Gasto (Litros/mes)	$Gast_{(i1)} = gare_{(i1)} * habi * 30$	Consumo real en el hogar.
	PERD	Pérdidas (Litros/mes)	$perd_{(i1)} = perq_{(i1)} * habi * 30$	Pérdidas mensuales en el hogar.
	XUGA	(Número de unidades en gasto)	DATO = 8 tipos de consumo	Lavado de ropa(LAVR) Lavado de platos (LAVP) Consumo Baño compl.(CONB) Riego de Jardín (RIEG). Higiene de la vivienda (HIGV) Lavado de automóvil (LAVA) Consumo bebida y cocina (COCI) Cons. piletas o piletines (PILE)
	GAUN	Gasto Unitario (Litros/hab/día)	DATO matriz (8;2)	Gasto unitario considerado en 2 semestres (otoño-invierno) y (primavera -verano).
	TRGA	Tiempo de retraso de la publicidad sobre el gasto. (Mes)	DATO INFERIDO	Se espera un retraso del efecto publicitario que tendrá una evolución en el tiempo.
	EPUG	Efecto de la publicidad sobre el gasto. (%)	DATO INFERIDO	Efecto publicitario que tendrá una reducción del gasto en el tiempo.
	GATE	Gasto Teórico (Litros/mes)	$\text{If } (t \text{ MOD } 12) < 6 \text{ then} \\ gate_{(i1)} = xugq_{(i1)} * gaun_{(11;1)} * (100 - epug_{(i1)}) / 100 \\ \text{else } gate_{(i1)} = xuga_{(i1)} * gaun_{(11;2)} * (100 - epug_{(i1)}) / 100$	gasto que se asume en función de la encuesta
	GARE	Gasto Real (Litros/mes)	$Gare_{(i1)} = gari_{(i1)} + (gate_{(i1)} - gari_{(i1)}) / trga_{(1;1)}$	Gasto real que se calcula en función del gasto teórico.
	GARI	Gasto Real Inicial (Litros/mes)	DATO INFERIDO	Dato de partida que se asume el valor cero al iniciar el mes
	CONS	Gasto Acumulado (Litros)	$Cons_{(i1)} = coni_{(i1)} + gast_{(i1)}$	Cuantificar el gasto acumulado para su comparación mensual
	CONI	Gasto Acumulado Inicial (Litros)	DATO = 0	Dato de partida que tomar el valor cero al iniciar el mes
	XUPE	(Número de unidades que pierden)	DATO = 4 unidades que pierden (INOD, GOTE, CANI, INST)	Inodoro que pierde (INOD) Canilla que gotea (GOTE) Canilla abierta (CANI) Pérdidas en inst.de agua (INST)
	PEUN	Pérdidas Unitarias (Litros/día/unidad)	DATO = pérdidas unitarias sobre: (INOD, GOTE, CANI, INST)	Caudal de cada unidad que pierde: (INOD) _i ; (GOTE) _i ; (CANI) _i ; (INST)
	EPUP	Efecto de la publicidad sobre las pérdidas. (%)	DATO = 4 unidades que pierden (INOD, GOTE, CANI, INST)	Efecto publicitario que se espera sobre la reducción de las pérdidas a lo largo del tiempo.

SIMBOLO	VARIABLE	NOMBRE	CALCULO DE SU VALOR	EXPLICACIONES
	PETE	Pérdidas Teóricas (Litros/día)	$\text{pete}_{(i1)} = \begin{cases} \text{xupe}_{(i1)} * \text{peun}_{(i1;2)} * ((100 - \text{epug}_{(i1)}) / 100) & \text{if } (t \text{ MOD } 12) < 6 \\ \text{xupe}_{(i1)} * \text{peun}_{(i1;2)} * ((100 - \text{epug}_{(i1)}) / 100) & \text{else} \end{cases}$	Pérdidas obtenidas de fuentes preexistentes.
	PERE	Pérdidas Reales (Litros/hab/mes)	$\text{pere}_{(i1)} = \text{peri}_{(i1)} + (\text{pete}_{(i1)} - \text{peri}_{(i1)}) / \text{trpe}_{(i1)}$	Pérdidas que se calcula en función de las pérdidas reales iniciales
	PERI	Pérdidas Real Inicial (Litros/mes)	DATO = 4 valores de cada componente sanitario (INOD, GOTE, CANI, INST)	Pérdidas real inicial de cada elem.
	TRPE	Tiempo de Retraso de la Publicidad sobre las Pérdidas (mes)	DATO = 4 unidades que pierden (INOD, GOTE, CANI, INST)	Se espera que el efecto publicitario tendrá retraso sobre las pérdidas, con una evolución variable en el tiempo.
	PEAC	Pérdidas Acumuladas (Litros)	$\text{peac}_{(i1)} = \text{peai}_{(i1)} + \text{perd}_{(i1)}$	Determinar las pérdidas acumuladas Inodoro que pierde (INOD) Canilla que gotea (GOTE) Canilla abierta (CANI) Perdidas en inst.de agua (INST)
	PEAI	Pérdidas Acumuladas Inicial (Litros)	DATO = 4 unidades que pierden (INOD, GOTE, CANI, INST)	Sumatoria de las pérdidas iniciales de los elementos domiciliarios.
	COTO	Gasto Total (Litros)	$\text{Coto}_{(i1)} = \begin{cases} 0 & \text{for } (i2) = 1 \text{ to } 8 \\ \text{coto} + \text{cons}_{(i2)}; \text{next}(i2) & \text{for } (i2) = 1 \text{ to } 4 \\ \text{coto} + \text{peac}_{(i2)}; \text{next}(i2) & \end{cases}$	Volumen total del consumo más las pérdidas
	PETO	Pérdidas Total (Litros/mes)	PETO {ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=0;tabl=n;npun=..}	Variable que totaliza las pérdidas mensuales.
	XGAS	Gasto Total (Litros/mes)	XGAS {ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=0;tabl=n;npun=..}	Variable que totaliza los gastos mensuales.
	XGMP	Sumatoria de Pérdida y Gasto (Litros/mes)	XGMP {ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=0;tabl=n;npun=..}	Variable que totaliza la sumatoria de pérdidas más gastos mensuales.

DEFINICION DEL ARCHIVO “L”, lista de variables, que lee SIGEM

Significado de los códigos entre corchetes que aparecen a continuación del nombre de cada variable:

ince: si lleva o no incertidumbre.

cval: número de cambios de valor a lo largo del tiempo (caso de ser variable de entrada)

ndim: número de dimensiones (1 si es un vector, 2 si es una matriz, etc.).

d1, d2, etc.: longitud de la primera dimensión, segunda, etc.

esta: si la variable es de estado o no (requiere o no un valor inicial).

inic: nombre de la variable que representa el valor inicial de la variable de estado.

tabl: si la variable viene determinada por una tabla o no.

npun: número de puntos de la tabla.

```
CONS consumo de agua
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=8;d2=.;esta=s;inic=CONI;tabl=n;npun=..;]
CONI consumo inicial
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=8;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
PEAC pérdida acumulada
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=S;inic=PEAI;tabl=n;npun=..;]
PEAI pérdida acumulada inicial
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
COTO consumo total
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
GATE gasto teórico
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=8;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
GARE gasto real
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=8;d2=.;esta=s;inic=GARI;tabl=n;npun=..;]
GARI gasto real inicial
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=8;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
GAST gasto
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=8;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
XUGA número de unidades en gasto
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=8;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
GAUN gasto unitario
[ince=n;cval=0;ndim=2;d1=8;d2=2;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
TRGA tiempo retorno publicidad sobre gasto
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=8;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
TRPE tiempo retorno publicidad sobre perdidas
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
EPUG ejecución de publicidad gasto
[ince=n;cval=4;ndim=1;d1=8;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
PETE perdida teórico
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
PERE pérdidas reales
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=s;inic=PERI;tabl=n;npun=..;]
PERI pérdidas reales iniciales
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
PERD perdidas
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
XUPE número de unidades que pierden
[ince=n;cval=0;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
EPUP ejecución de publicidad perdida
[ince=n;cval=4;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
HABI número de habitantes por casa
[ince=n;cval=4;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
```

```

PEUN perdida unitaria
[ince=n;cval=0;ndim=2;d1=4;d2=2;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
PRDI consumo medio diario por habitante
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
PETO pérdida total
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
XGAS gasto total
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]
XGMP suma gasto mas perdidas
[ince=n;cval=0;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

```

DEFINICION DEL ARCHIVO “G”, lista de funciones, que lee SIGEM

```

CONS cons(i1)=coni(i1)+gast(i1)
PEAC peac(i1)=peac(i1)+perd(i1)
COTO coto=0:
    for i2 = 1 to 8
        coto=coto+cons(i2)
    next i2
    for i2 = 1 to 4
        coto=coto+peac(i2)
    next i2
PETO peto=0:
    for i2 = 1 to 4
        peto=peto+perd(i2)
    next i2
XGAS xgas=0:
    for i2 = 1 to 8
        xgas=xgas+gast(i2)
    next i2
GATE if (t mod 12) < 6 then
    gate(i1)=xuga(i1)*gaun(i1,1)*(100-epug(i1))/100
    else
    gate(i1)=xuga(i1)*gaun(i1,2)*(100-epug(i1))/100
    endif
GARE gare(i1)=xuga(i1)*gari(i1)+(gate(i1)-
    xuga(i1)*gari(i1))/trga(i1)
GAST gast(i1)=gare(i1)*habi*30
PETE if (t mod 12) < 6 then
    pete(i1)=xupei(i1)*peun(i1,1)*(100-epup(i1))/100
    else
    pete(i1)=xupei(i1)*peun(i1,2)*(100-epup(i1))/100
    endif
PERE pere(i1)=xupei(i1)*peri(i1)+(pete(i1)-
    xupei(i1)*peri(i1))/trpe(i1)
PERD perd(i1)=pere(i1)*habi*30
XGMP xgmp=xgas+peto
PRDI prdi=coto/t/30/habi

```

DIAGRAMA DE FORRESTER (primera aproximación)

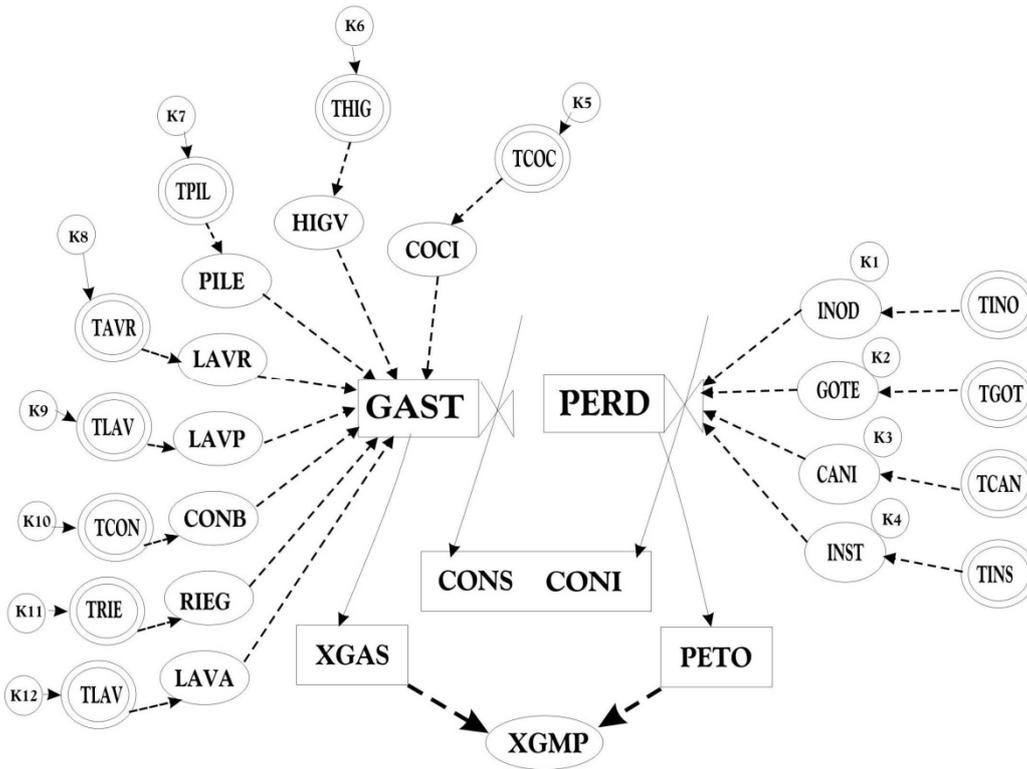


DIAGRAMA DE FORRESTER (segunda aproximación)

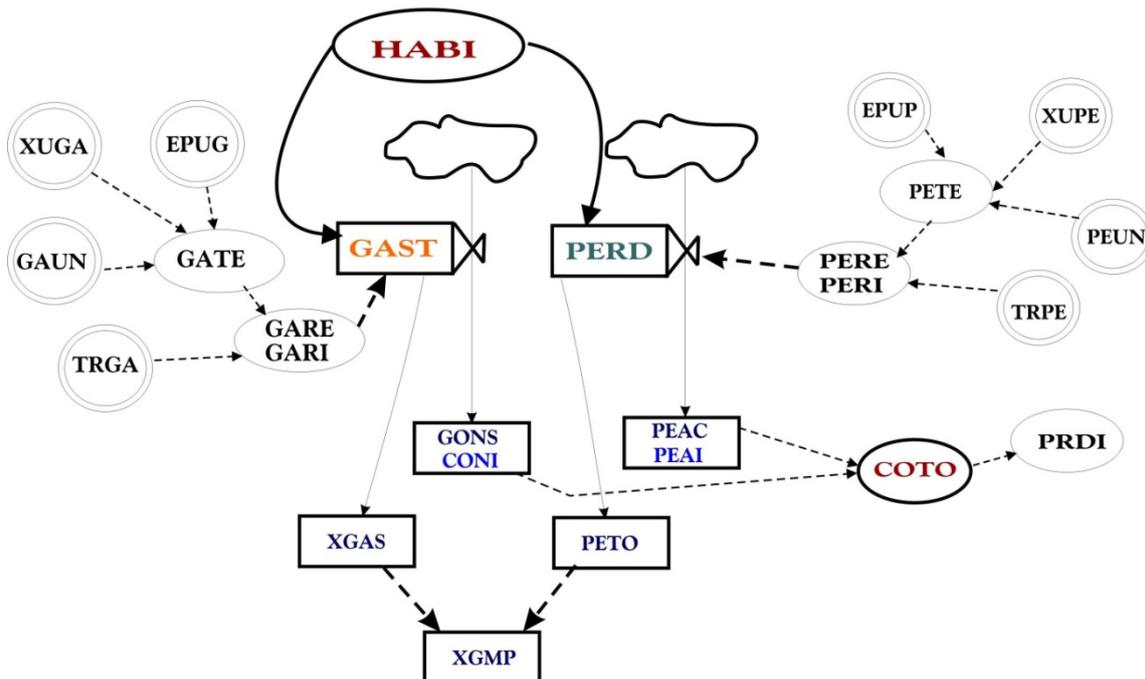
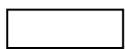
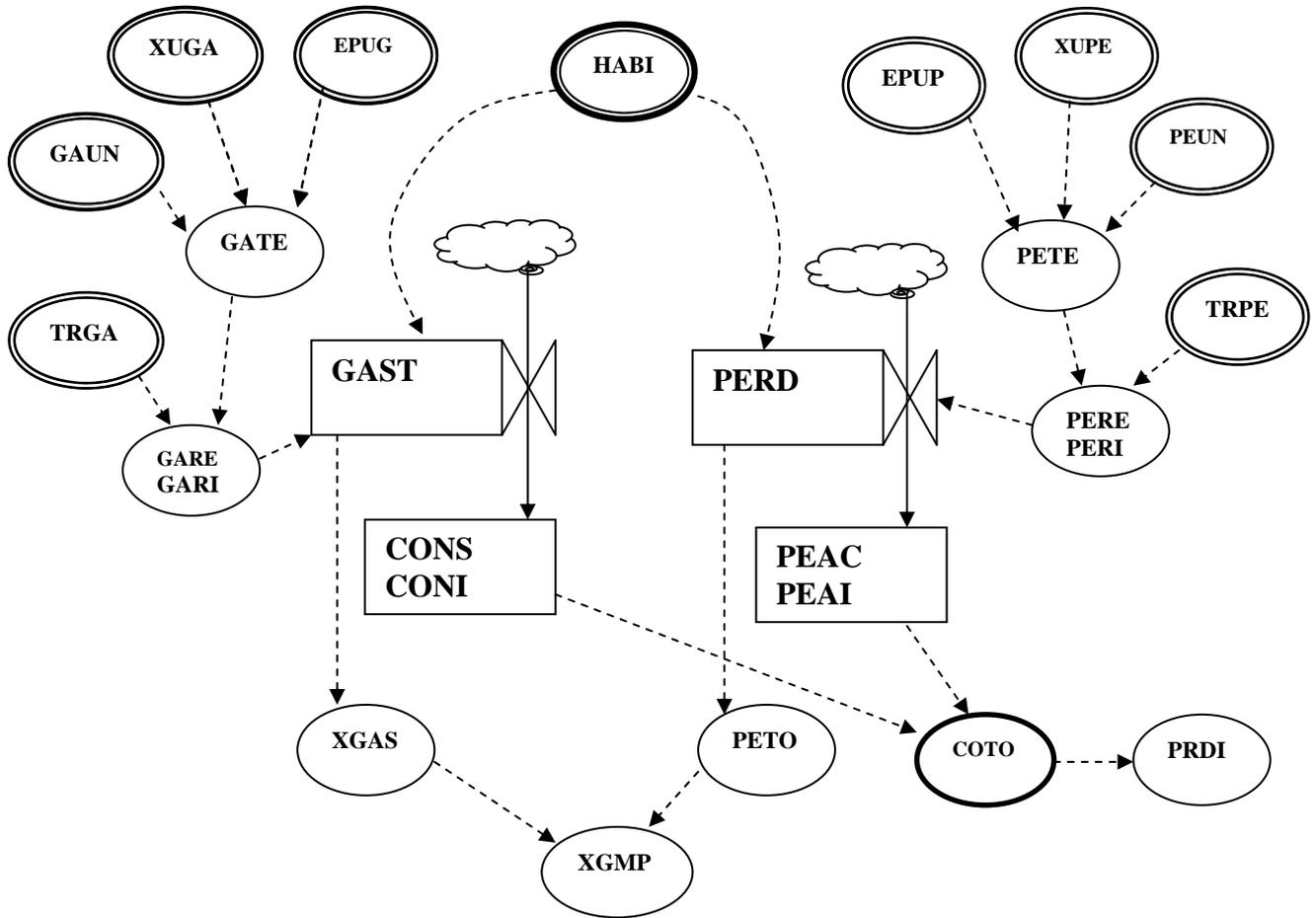


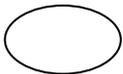
DIAGRAMA DE FORRESTER (definitivo)



Variables de Estado o Niveles
Son variables almacenables, de stock o de fondo



Variables de Flujo
Son las variables que afectan al comportamiento de las variables de estado, o niveles, haciendo que aumenten o disminuyan.



Variables Auxiliares
Son magnitudes que ayudan a explicar los valores de los flujos.



Variables Exógenas
También llamadas independientes, son externas al sistema, pero que actúan sobre el comportamiento de este.



Fuentes o sumideros
Cuando la procedencia o destino de los materiales o elementos no son de interés para el estudio en cuestión se conviene que estén dirigidos sumideros que no se llenan o provienen de fuentes inagotables.

RESULTADOS ESPERADOS

En el presente Modelo, consideramos como variables de Estrategia a (EPUG) y (EPUP) y como variable de escenario (HABI).

La presente información, fue extraída del Archivo Cmodelo.txt (producido por SIGEM), y presenta las relaciones de influencia o dependencia entre las diferentes variables del Modelo.

Variable de Gasto	Le influyen:	Variable de Pérdidas	Le influyen:
CONS	CONI,GAST	PETE	XUPE,EPUP,PEUN
GAST	GARE,HABI	PERE	TRPE,PETE,PERI
GARE	GATE,GARI,TRGA	PERD	PERE,HABI
GATE	XUGA,GAUN,EPUG	PRDI	COTO,HABI
COTO	CONS,PEAC	PEAC	PERD

Escenarios

1: Población en aumento en la vivienda: La variable HABI (Cantidad de habitantes en promedio en las viviendas), crece a lo largo de los meses en los que se realiza el estudio. El mismo se considera en aumento desde el valor actual de 4 habitantes por vivienda, a un valor de 4,4 habitantes por vivienda.

Esta situación, tiene una buena probabilidad de ocurrencia, ya que en situaciones económicas adversas, se reducen las personas que alquilan y/o construyen sus propios hogares, estudiantes que dejan de alquilar, menos matrimonios, efecto migratorio, etc., lo que hace que se produzca un aumento en la cantidad de habitantes por vivienda.

2: Población en disminución en la vivienda: La variable HABI (Cantidad de habitantes en promedio en las viviendas), disminuye a lo largo de los meses en los que se realiza el estudio. El mismo se considera en disminución desde el valor actual de 4 habitantes por vivienda, a un valor de 3,6 habitantes por vivienda.

Situación que se produce, normalmente en casos de una economía estable, crecimiento sostenido a lo largo del tiempo, créditos accesibles para construcción, planes de vivienda por parte de los distintos estados, inversión privada en el sector inmobiliario, etc.

Estrategias

En general, en la ciudad existe un escaso porcentaje de la población que tiene algún conocimiento del proceso de extracción y potabilización del agua. Frecuentemente los ciudadanos se preguntan porque, estando a la orilla de un río muy caudaloso como es el Río Paraná, no es posible tener agua en calidad y cantidad suficiente,

Si bien el recurso está disponible, no se contabilizan los costos de extracción, potabilización y distribución del agua.

Por estar a la orilla de este río, el ciudadano posee el concepto de que el recurso es inagotable y de fácil acceso. Esto trae aparejado, un uso poco eficiente. Las pérdidas a nivel de redes y a nivel domiciliario, suelen ser soslayadas. El consumo se realiza prácticamente sin limitaciones. La tarifa, es a nivel internacional relativamente baja. La existencia de medidores es muy reducida.

Factores como los antes mencionados, hacen que el gasto total del líquido elemento, ronde actualmente los 450 litros por habitante día (producido en la planta y distintas perforaciones). Si consideramos que los valores brindados por el municipio en cuanto a pérdidas en la red son del orden del 38%, estimamos que se estarían consumiendo 300 litros/habitante/día. Consideramos que una buena estrategia para reducir el gasto total en la vivienda, es el efecto que puede tener una buena campaña publicitaria orientada en tal sentido, al igual que un buen control luego de la misma.

Se plantearon las siguientes estrategias:

1: Campaña orientada específicamente a reducir las pérdidas por medio de la concientización en la vivienda: Las mismas se agruparon en 4 categorías, y se considera un porcentaje de reducción importante en las pérdidas, en forma directa e indirectamente se considera una reducción en el gasto, en menor porcentaje.

2: Campaña orientada específicamente a reducir el consumo, es decir realizar un consumo racional, indirectamente una reducción sobre las pérdidas.

3: Campaña orientada a reducir pérdidas mediante concientización y luego de finalizada la misma, un control por parte del ente prestador del servicio, o colocación de medidores domiciliarios y/o ajuste tarifario. Esto afecta directamente a las pérdidas domiciliarias, con un mayor porcentaje de reducción a lo largo del tiempo e indirectamente afecta al consumo.

De las estrategias y escenarios planteados anteriormente se desprende el siguiente cuadro que especifica cómo se construyen los distintos ficheros de datos.

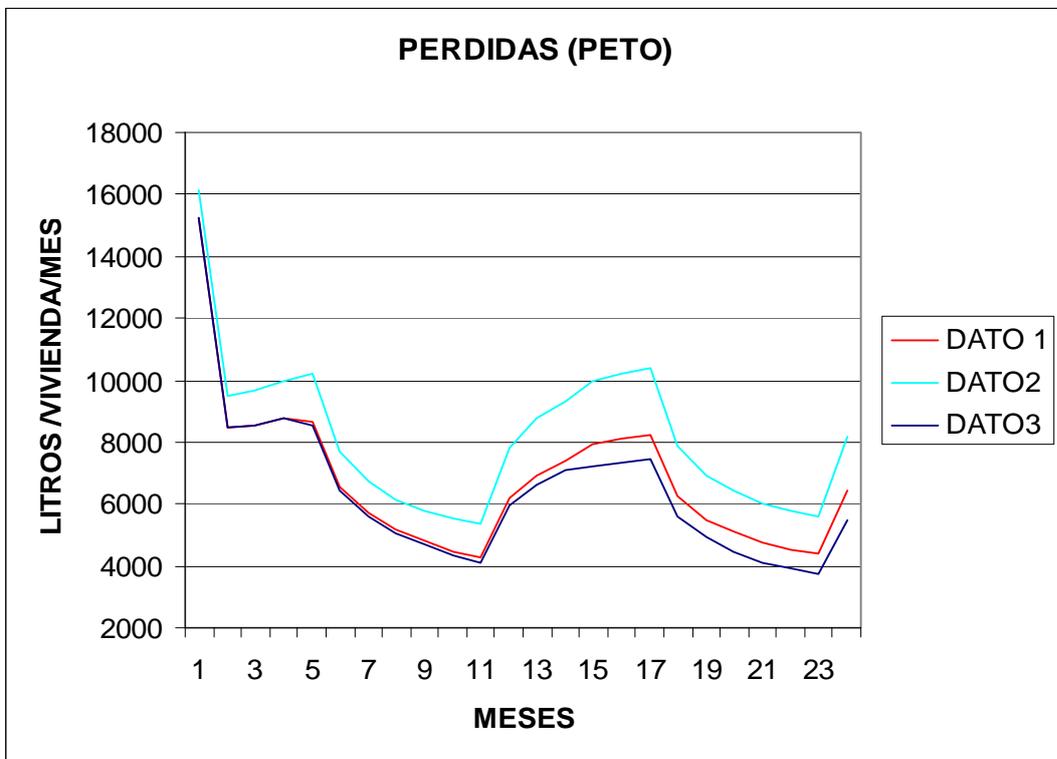
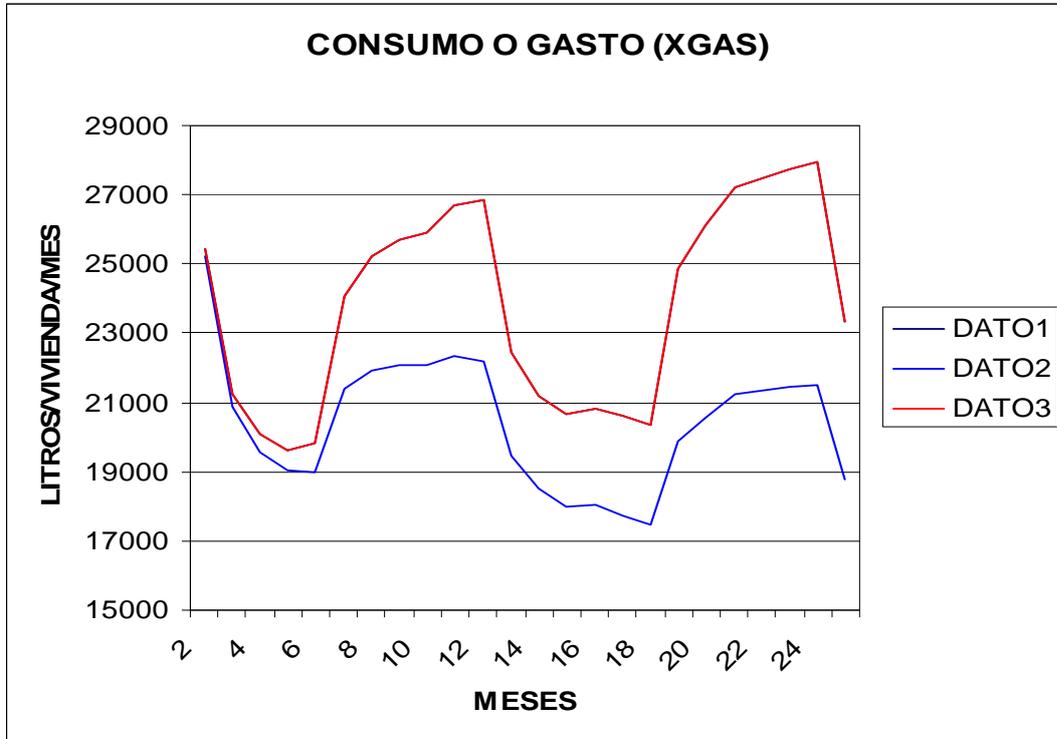
	Aumento HABI	Disminución HABI
Publicidad sobre pérdidas	DATOS 1	DATOS 4
Publicidad sobre gastos	DATOS 2	DATOS 5
Publicidad sobre pérdidas con control posterior	DATOS 3	DATOS 6

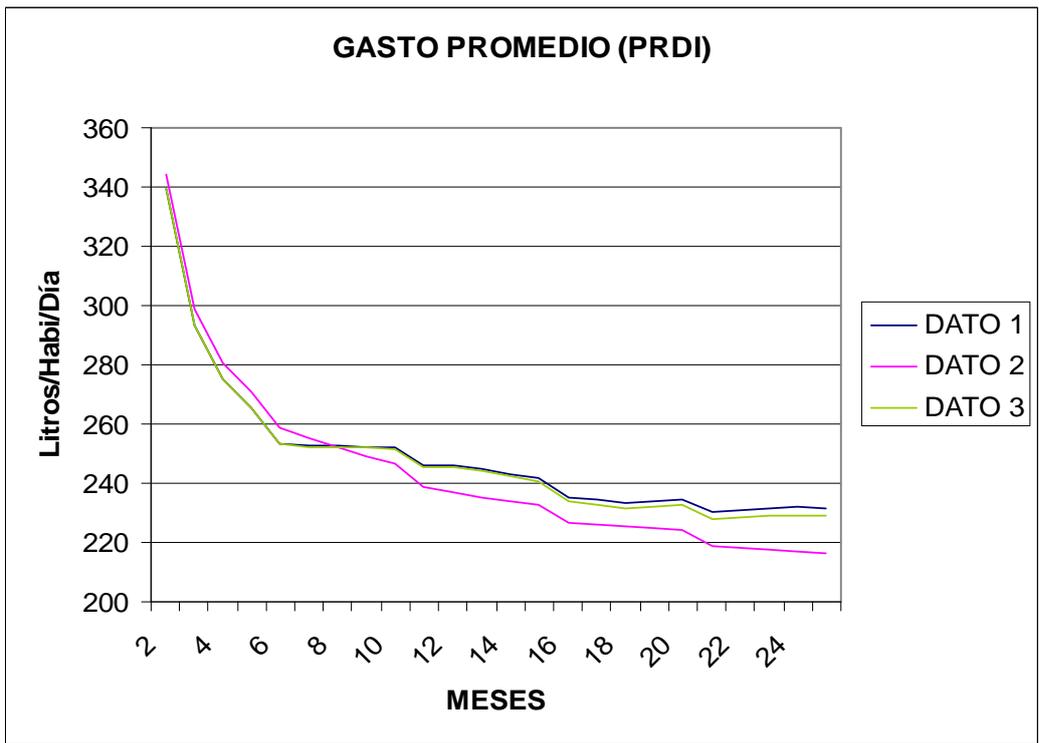
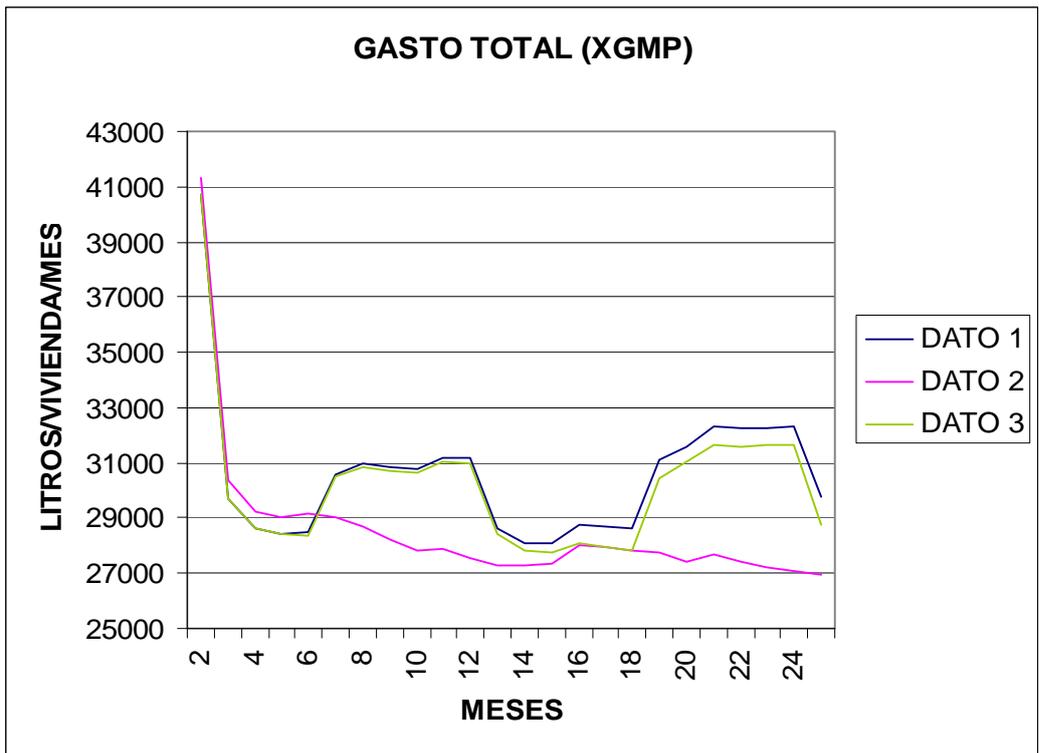
Del análisis de las consecuencias de las distintas combinaciones de estrategias y escenarios, se tratará de obtener la mejor estrategia a seguir.

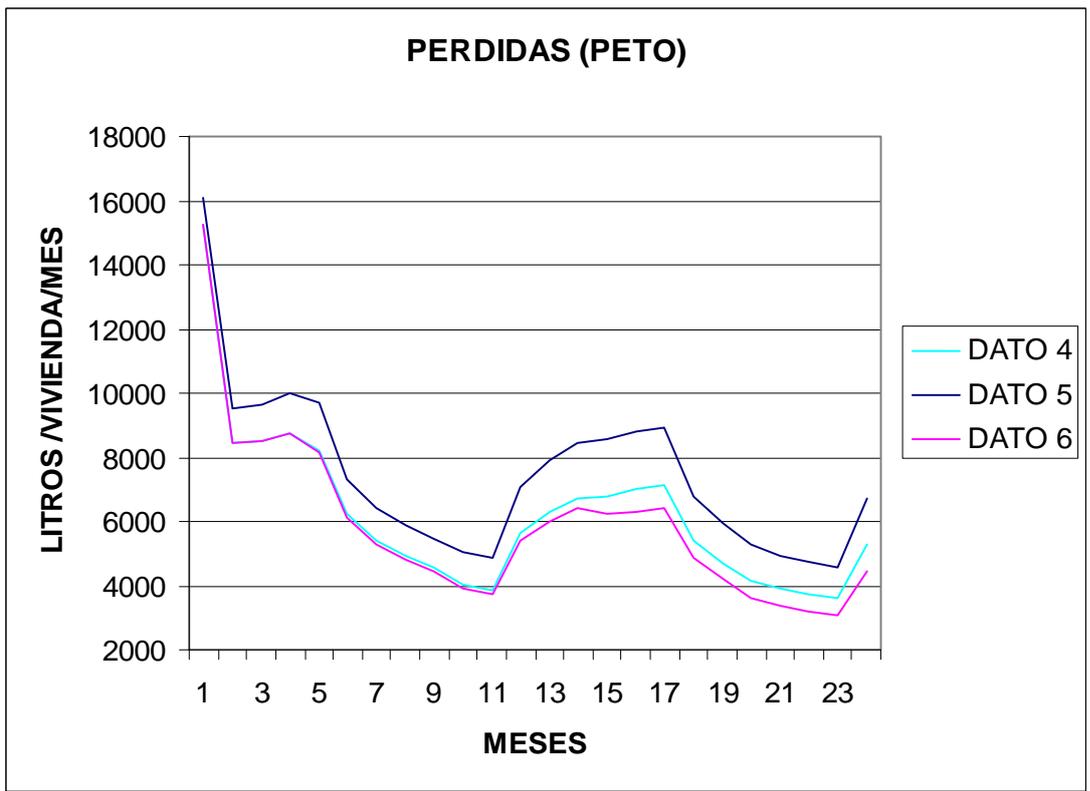
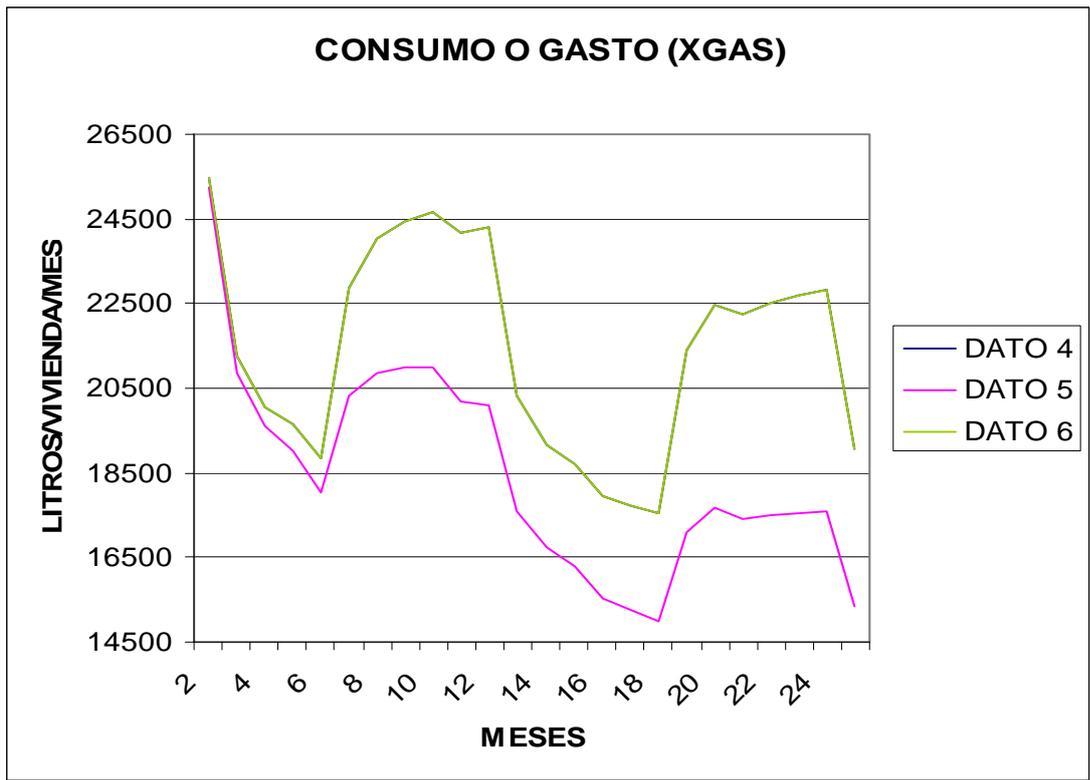
Además del efecto de concientización, por medio de campañas publicitarias, que seguramente se puede mantener en el tiempo si se mantiene la campaña (por los distintos medios y/o canales publicitarios y educativos), es importante el apoyo e incentivo al acceso a artefactos con menores posibilidades de pérdidas y más eficientes, cuadro tarifario que establezca premios y castigos, códigos de construcción que contribuyan al uso racional del recurso, etc.

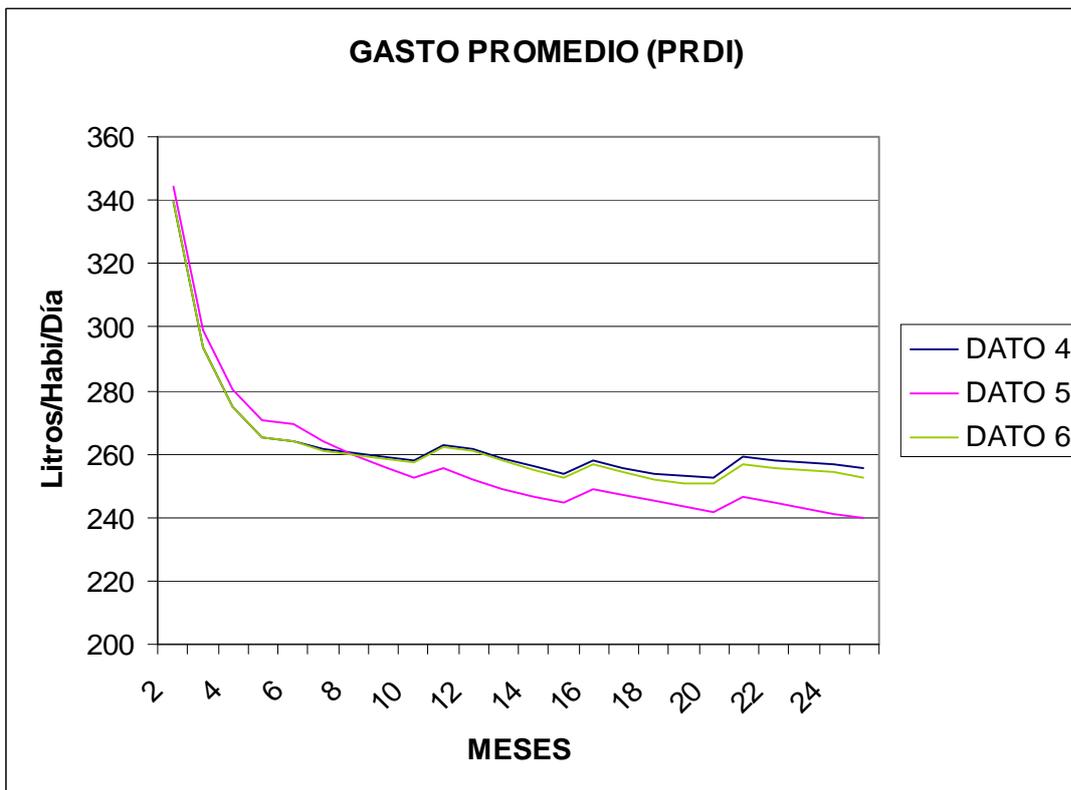
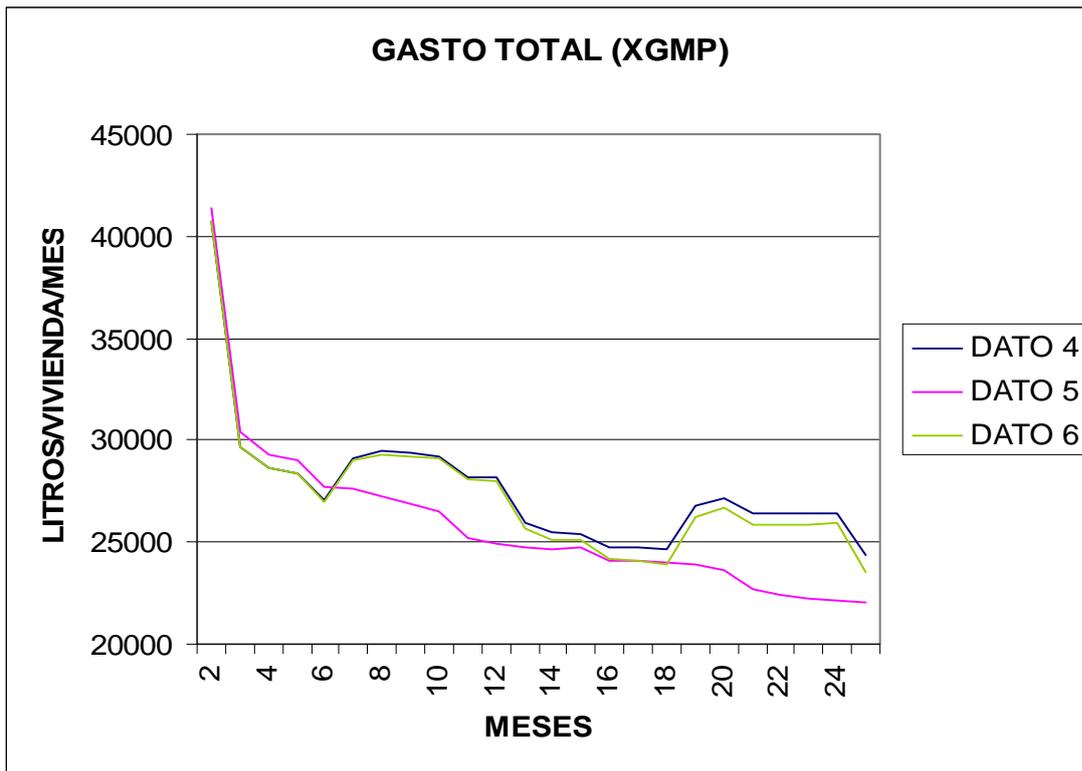
Variables Graficadas

Los resultados de la simulación de las diferentes combinaciones de escenarios con estrategias (Datos 1 a Datos 6) se presentan a continuación de manera gráfica.









CONCLUSIONES

En un escenario con población creciente (Datos 1, Datos 2 y Datos 3), para el control de las pérdidas, resulta conveniente la aplicación de una política publicitaria con control (datos 3), reduciendo con relación a la anterior alternativa en un 15%, pero en el mismo escenario, para el control de gasto resulta muy beneficiosa la adopción de una política de publicidad permanente, enfocada al ahorro en el consumo, observándose de esta manera un ahorro de aproximadamente 20 %, obteniendo una reducción del gasto total (gasto + pérdida) de aproximadamente el 9.5% y un gasto promedio acumulado del orden del 5.5 %.

Con un escenario con población decreciente (Datos 4, Datos 5 y Datos 6), para el control de las pérdidas, resulta conveniente la aplicación de la misma política publicitaria con control (datos 6), reduciendo las pérdidas en un orden similar, pero con el mismo escenario, para el control del gasto resulta muy beneficiosa la adopción de una política de publicidad constante enfocada al ahorro en el consumo, observándose de esta manera un ahorro de aproximadamente el 20 %, obteniendo una reducción del gasto total (gasto + pérdida) de aproximadamente el 6.3% y un gasto promedio acumulado del orden del 5.13 %.

Conclusión Final: Indistintamente del escenario planteado, el criterio a adoptar para la aplicación de la publicidad en la concientización sobre el control del gasto y las pérdidas, es aquella que actúa sobre el control de las pérdidas y sobre el gasto. Resulta beneficiosa la adopción de una política de publicidad constante enfocada al ahorro en el consumo, obteniéndose de esta manera un ahorro porcentual acumulado del orden del 6.3% al 9.5% y mensual del orden del 5.13% y 5.5%.

Del análisis de las distintas combinaciones de estrategias y escenarios, vemos como se pueden reducir y cuantificar los ahorros que se pueden lograr.

También, es de gran utilidad, la posibilidad de incorporar otras variables al simulador, con lo cual se obtendrían datos muy importantes, no sólo para la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales, sino, como una herramienta muy útil a la hora de planificar.

BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.argentina.gov.ar>
- <http://www.ina.gov.ar>
- <http://www.inta.gov.ar>
- <http://www.ambiente.gov.ar>
- <http://www.indec.mecon.gov.ar>
- <http://www.unesco.org>
- Caselles, A. (2008). Modelización y simulación de sistemas complejos. Universitat de València (España). <http://www.uv.es/caselles>
- CURSO DE POSGRADO “GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN PEQUEÑOS MUNICIPIOS: Modelos de Simulación por Ordenador” – Septiembre 2008.

Anexo 1: Tablas de valores utilizados en las distintas simulaciones

En todas las tablas correspondientes a Gastos, la numeración del 1 a 8 corresponde a la Variable Gastos de acuerdo al siguiente detalle:

Variable Gastos:

- 1- Lavado de ropa (LAVR)
- 2-Lavar platos (LAVP)
- 3-Consumo en baño completo (CONB)
- 4-Riego jardín/calle (RIEG)
- 5- Higiene de la vivienda (HIGV)
- 6-Lavado de automóvil-Camioneta-Camiòn (LAVA)
- 7- Agua para cocinar y beber(COCI)
- 8- Consumo-Renovación en piletines o piletas (PILE)

GARI gasto inicial

Gasto inicial	1	2	3	4	5	6	7	8
L/h	25	37.5	87.5	75	12.5	7.15	5	107

XUGA número de unidades en gasto

Nº Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8
c/u	1	1	1	0.3	1	0.5	1	0.5

GAUN gasto unitario

Gasto Unitario	1	2	3	4	5	6	7	8
Invierno	25	37.5	67.5	10	12.5	5	5	5
Verano	25	37.5	110	100	20	10	10	120

TRGA tiempo retorno publicidad sobre gasto

Tiempo Retorno	1	2	3	4	5	6	7	8
Meses	18	18	12	3	18	3	24	2

EPUG ejecución de publicidad gasto
 EPUP ejecución de publicidad perdida
 HABI número de habitantes por casa

Datos 1	Datos 2	Datos 3	Datos 4	Datos 5	Datos 6
EPUG					
mes 1					
5	15	5	5	15	5
5	15	5	5	15	5
8	20	8	8	20	8
10	35	10	10	35	10
5	15	5	5	15	5
10	35	10	10	35	10
0	0	0	0	0	0
10	35	10	10	35	10
mes 6					
3	10	3	3	10	3
3	10	3	3	10	3
3	10	3	3	10	3
5	15	5	5	15	5
3	10	3	3	10	3
5	13	5	5	13	5
0	0	0	0	0	0
5	13	5	5	13	5
mes11					
0	3	0	0	3	0
0	3	0	0	3	0
0	3	0	0	3	0
3	8	3	3	8	3
0	3	0	0	3	0
3	8	3	3	8	3
0	3	0	0	3	0
0	3	0	0	3	0
mes16					
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Datos 1	Datos 2	Datos 3	Datos 4	Datos 5	Datos 6
mes 21					
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Datos 1	Datos 2	Datos 3	Datos 4	Datos 5	Datos 6
EPUP					
mes1					
30	15	30	30	15	30
20	10	20	20	10	20
20	10	20	20	10	20
20	10	20	20	10	20
mes6					
10	5	10	10	5	10
5	3	8	5	3	8
5	3	8	5	3	8
5	3	8	5	3	8
mes11					
5	2	6	5	2	6
5	2	6	5	2	6
5	2	6	5	2	6
5	2	6	5	2	6
mes16					
0	0	4	0	0	4
0	0	4	0	0	4
0	0	4	0	0	4
0	0	4	0	0	4
mes21					
0	0	3	0	0	3
0	0	3	0	0	3
0	0	3	0	0	3
0	0	3	0	0	3

Datos 1	Datos 2	Datos 3	Datos 4	Datos 5	Datos 6
HABI					
4	4	4	4	4	4
4.1	4.1	4.1	3.9	3.9	3.9
4.2	4.2	4.2	3.8	3.8	3.8
4.3	4.3	4.3	3.7	3.7	3.7
4.4	4.4	4.4	3.6	3.6	3.6

En todas las tablas correspondientes a Pérdidas, la numeración de 1 a 4 corresponde a la **Variable Pérdidas** de acuerdo al siguiente detalle:

Variable Pérdidas:

- 1-Inodoros: (INOD)
- 2-Goteras: (GOTE)
- 3 Canillas Abiertas: (CANI)
- 4-Instalaciones en general: (INST)

TRPE tiempo retorno publicidad sobre perdidas

Tiempo Retorno	1	2	3	4
Meses	3	3	3	3

XUPE número de unidades que pierden

XUPE	1	2	3	4
c/u	0,05	1	1	0,10

PERI pérdidas iniciales

PERI	1	2	3	4
Litros	1250	10	15.6	365

PEUN pérdida unitaria

PEUN	1	2	3	4
Invierno (Litros)	1500	30	30	400
Verano(Litros)	1000	10	10	300

Definición de los Escenarios

Meses	Aumento N° Habi/viv.	Disminución N° Habi/viv.
1-5	4.0	4.0
6-10	4.1	3.9
11-15	4.2	3.8
16-20	4.3	3.7
21-24	4.4	3.6

Simulación de la variación del consumo efectivo de agua potable por manzana.

Javier E Cortes: Ingeniero Industrial

Rosana Gregorutti: Ingeniera en Construcciones

Sr. Luis Daniel Acosta

Dr. Antonio Caselles Moncho

Resumen

El modelo planteado tiene por objeto simular la incidencia de diversos factores, tales como familiares, económicos, de hábitos de consumo y de servicios, en la demanda efectiva de agua potable (uso domestico) en una manzana de un sector urbano residencial. Es decir, conocer, como la combinación de los diversos factores, inciden en la variación de la demanda, permitiendo al prestatario del servicio, la toma de decisiones que permitan un uso eficiente del agua, haciendo previsibles el aumento de la demanda en un periodo de tiempo y planificar el aumento de la capacidad de producción, distribución y almacenamiento.

I - INTRODUCCION

Estudio Del Mercado

Una de las situaciones que debe enfrentar el profesional cuando encara el abastecimiento de agua a una localidad es el análisis de los antecedentes que le permitan definir la cuantificación y real dimensión del problema.

La conclusión central de un estudio de mercado es la estimación dentro de ciertos niveles de precios, de la demanda actual y futura de agua en el área a servir.

El mercado de los servicios de saneamiento presenta particularidades que lo convierten en un mercado singular. Otro tipo de servicios (electricidad, gas, teléfono, etc.) están sometidos a un proceso de autorrestricción por parte de los usuarios, ya que es factible establecer conductas de consumo de acuerdo a las posibilidades económicas que cada usuario tiene. Si bien la tendencia actual es la medición de los consumos de agua, la autorrestricción de los consumidores domésticos alcanza a niveles compatibles con las necesidades mínimas a satisfacer en cada vivienda. Aún cuando no puedan pagar el agua mínima que requieren para su subsistencia, consumirán una cantidad acorde con sus necesidades mínimas y estarán dispuestos a afrontar las consecuencias económicas y aún legales por no poder pagar.

De ello resulta que el habitual análisis de elasticidad de la demanda tiene un piso o mínimo, definido por la satisfacción de las necesidades vitales del consumidor, cualquiera sea el precio o tarifa que se fije para el servicio. El techo o máximo es un valor incierto, ya que superada una determinada apetencia de consumo que incluya todos los usos imaginables, aún cuando su capacidad económica lo permita, el usuario no tendrá capacidad de consumir más. No encuentra usos para el agua. La incertidumbre surge del desconocimiento de los usos posibles que cada individuo puede darle al agua, aunque se sitúa en un entorno conocido. El

límite puede surgir también de la propia capacidad del sistema, ya que no podrá proveer más agua que la que está limitada por las dimensiones de sus componentes.

Demanda De Servicios

La cuantificación de la Demanda de Agua Potable resulta de determinar en forma detallada los usos y aplicaciones del producto, y del conocimiento de las condiciones en las que los mismos se realizan. De esta forma se busca definir la demanda de consumo total, conformada por los **usos domésticos y no domésticos**, correspondiendo al análisis de operación del sistema la cuantificación del agua perdida por fugas en las redes y conducciones y la destinada a otros usos específicos y no específicos.

Cada habitante consume, para atender sus usos diarios de **higiene, bebida y comida** una cantidad promedio de agua expresada en litros por habitante y por día, denominada **dotación de consumo doméstico**. Esta cantidad de agua, multiplicada por la población servida permite conocer el consumo domiciliario.-

Las actividades comerciales e industriales implican consumos de agua, a los que deben adicionarse los resultantes de actividades comunitarias que se desarrollan en escuelas, hospitales, etc.

La sumatoria de todos éstos conceptos permite conocer el consumo total de agua de una determinada área o zona, involucrando la totalidad de las actividades domésticas y sociales, pero excluyendo usos específicos tales como riego de calles, riego de espacios verdes comunes (plazas, parques, etc.), abastecimientos con camiones a usuarios alejados de las redes, etc. Estos se excluyen y se consideran separadamente, por cuanto es posible que del análisis del sistema surja la conveniencia y posibilidad de abastecerlos separadamente o mediante otras fuentes de agua.

Demanda de Agua Potable

Se define como demanda en un servicio de agua potable, a la cantidad y calidad de agua que satisface los requerimientos del usuario, incluyendo además todos aquéllos usos no directamente requeridos por el usuario pero que hacen al funcionamiento de toda la infraestructura social y al sistema de abastecimiento en particular.

Se debe tener en cuenta que para la satisfacción de dicha demanda existen condiciones particulares como:

- Limitaciones por producción insuficiente.
- Estado operativo del sistema, lo que puede ocasionar dificultades en la entrega al consumo de volúmenes suficientes y/o con adecuada calidad.
- Régimen tarifario que se aplique.

Numerosas experiencias muestran que a partir de la implementación de servicios de agua potable en localidades que no disponen de los mismos, progresivamente se incrementa el consumo unitario (dotación), a medida que los habitantes adquieren consciencia de las posibilidades de su uso y las ventajas y comodidades que el mismo les ofrece. Similarmente, en servicios existentes, cuando existe una demanda, insatisfecha, aún cuando los usuarios no cuenten con parámetros fácilmente visualizables que les indiquen tal situación, al alcanzarse la disponibilidad plena, con buena calidad de servicio, se verifica un automático aumento de la demanda, lo que se pone de manifiesto mediante un incremento progresivo de la dotación, hasta que la demanda total sea atendida.

Pero es dable destacar que la consideración del crecimiento de las dotaciones en el tiempo no puede ser realizada aisladamente del contexto que le confiere el sistema tarifario que se implemente y asociado a él la política de medición de consumos que se aplique.

La elasticidad de la demanda surge de un análisis que considera todas las variables técnicas, sociales y económicas en juego. El límite mínimo queda fijado por la satisfacción de las necesidades elementales de los usuarios, la que, por sector, atiende pautas socioeconómicas y socioculturales. El límite máximo, más impreciso que el anterior, está regulado por condiciones locales tales como clima, topografía, usos y costumbres, poder adquisitivo, características urbanas del área, nivel de la población en todos sus aspectos y calidad del servicio.

Suelen aceptarse tres premisas básicas a este respecto:

1. Una **mayor calidad de servicio**, expresada en términos de presiones, caudales y calidad del agua suministrada, implica un **mayor consumo de agua** potable. Es de destacar que ello no siempre redundaría en la necesidad de una mayor producción, ya que la mayor calidad de servicio usualmente obedece a buenos niveles operativos, disminuyendo sensiblemente las pérdidas y fugas en las redes o lo que se denomina agua no contabilizada.
2. La disponibilidad de **servicio cloacal** implica un aumento de los consumos de agua potable.
3. Restricciones de consumo por la adopción de un régimen tarifario medido.

Modelo De Demanda

Una de las primeras tareas a desarrollar es el establecimiento de un Modelo de Demanda que permita definir la magnitud del problema y consecuentemente plantear soluciones adecuadas para el mismo.

El Modelo de Demanda no es inamovible. La concepción inicial puede variar sustancialmente a lo largo del desarrollo de las distintas etapas del trabajo, pero sirve siempre de base para iniciar las acciones a partir de datos conocidos o asumidos, permitiendo relacionar muchas de las variables y estudiar la incidencia de cada una de ellas en los resultados finales.

El Modelo de Demanda es una herramienta dinámica de planificación y gestión, que debe ser planteada desde la concepción misma del sistema.

Es posible desarrollar un modelo a partir de un sistema de datos de entradas y salidas, de tal manera que el mismo suministre la información necesaria para:

- Analizar la proyección de la demanda como base del diseño del sistema.
- Realizar el seguimiento posterior de la evolución de la demanda, con el sistema implementado, de tal manera que puedan realizarse correcciones adecuadas, anticipando los efectos de las modificaciones originadas por las variables.
- Realizar estudios de sensibilidad del comportamiento de la demanda y consecuentemente del sistema, frente a variaciones acotadas de las variables.
- Definir la oportunidad de las inversiones.
- Analizar alternativas de evolución de la demanda, frente a la definición de diferentes situaciones de cobertura y sus efectos sobre el sistema y las inversiones.

Otras Consideraciones

El Modelo de Demanda debe establecer las dotaciones de agua potable y dotación aparente de agua potable sobre la base del conocimiento de las características de la población a servir, sus actividades y su evolución futura.

Estas dotaciones no son fijas en el tiempo y están notablemente influenciadas por factores que tienen en cuenta:

- Establecimiento del servicio: hay una demostrada variación en la cantidad de agua que consume la población en función del tiempo histórico de disponibilidad del servicio. Inicialmente, cuando el servicio de agua potable recién está implantado, los pobladores aún no han detectado la totalidad de los usos que pueden realizar y en consecuencia, a medida que van incorporando conocimientos sobre aplicaciones del agua, incrementan su consumo hasta alcanzar un estándar que es compatible con sus reales necesidades.
- Las restricciones económicas que impone la medición de los consumos. Son múltiples las alternativas posibles de régimen tarifario medido, las que dependen de los costos y de decisiones políticas de la autoridad de aplicación. En este contexto, dependiendo del régimen tarifario que se aplique, las restricciones de consumo auto impuestas por los usuarios pueden variar dentro de un amplio rango, dependiendo en consecuencia de la capacidad de pago de la franja de población considerada y de la relación entre ésta y el régimen que se aplique.
- Nivel socioeconómico de la población y características de las viviendas. Los mayores niveles socioeconómicos denotan mayores consumos de agua, ya que adoptan rápidamente mejores hábitos de limpieza e higiene. También, mejoras en los niveles de vivienda están acompañados de mayores consumos de agua.
- Disponibilidad de servicio de desagües cloacales, ya que desaparecen las restricciones al consumo de agua potable que imponen la falta de un servicio centralizado de desagües. Los pozos absorbentes y fosas sépticas son fuertemente limitantes del consumo de agua, dado el alto costo de desagote de estas instalaciones.

Consumos Característicos

A continuación se presentan valores usuales extraídos de diferentes fuentes bibliográficas para cada tipo de usuario:

Consumos Domésticos

Tipo de Uso Doméstico Cantidad y Unidad	c/medidor- s/cloaca	intermedio	s/medidor- c/cloaca	
Bebida y Cocina	10	15	20	L / hab./ día
Lavado de ropa	10	15	20	L / hab./ día
Baño y lavado de manos	25	40	55	L / hab./ día
Instalaciones sanitarias	15	20	25	L / hab./ día

II-METODOLOGIA

1. Los alcances y simplificaciones del modelo planteado en este Trabajo Practico, tienen las limitaciones propias del marco formativo del CURSO EN GESTION SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA EN PEQUEÑOS MUNICIPIOS ETAPA II : “Modelos de Simulación por Ordenador”. Siguiendo la metodología presentada, el simulador fue concebido utilizando el Programa SIGEM (véase nota vi).
2. La información de base con la que se cuenta es la ENCUESTA “GESTION SOSTENIBLE DEL AGUA EN PEQUEÑOS MUNICIPIOS” del año 2008. Realizada en la ciudad de Crespo.
3. La demanda obtenida es lo que se denomina DEMANDA EFECTIVA: cada habitante consume, para atender sus usos diarios de higiene, bebida y comida una cantidad promedio de agua expresada en litros por habitante y por día, denominada dotación de consumo doméstico. Esta cantidad de agua, multiplicada por la población servida permite conocer el consumo domiciliario.
4. Con los datos de la encuesta, se determina la sumatoria de las características propias de una manzana, que es la unidad mínima cartográfica que permite relacionar demanda-oferta-servicio.-
5. Las variables seleccionadas tienen en cuenta los datos obtenidos por la encuesta, referida: constitución familiar, actividades residenciales consumidoras de agua, sistema de distribución de aguas residuales. Véase Anexos B y D.
6. Se diseñó el diagrama de flujos Forrester. Véase Anexos B y C.
7. Se determinó la relación entre variables: funciones. Véase Anexos B y E.
8. En el listado de variables y para determinar los distintos escenarios, se incluyeron TASAS DE CRECIMIENTOS:
TCRE: Tasa de crecimiento de N ° de habitantes.
TCON: Tasa de construcción.
TVCO: Tasa de ventas de automóviles.

TCRE: Tasa de crecimiento de N° de habitantes.

FUENTE: DATOS DE LA DIRECCION DE ESTADISTICA Y CENSO DE LA PROVINCIA DE ENTRE RIOS.

DEPTO. PARANA		
	Censo 1991	Censo 2001
PARANA	209.486	239.795
CERRITO	3.467	4.616
CRESPO	14.567	18.276
HASENKAMP	3.644	4.414
HERNANDARIAS	4.305	5.346
MARIA GRANDE	5.964	7.101
ORO VERDE	1.268	2.538
SAN BENITO	3.149	6.773
SEGUI	3.267	3.636
TABOSI	1.454	1.370

CIUDAD DE CRESPO		
Población Censo 1980	hab.	12.841
Población Censo 1991	hab.	14.567
Población Censo 2001	hab.	18.276
Tasa de crecimiento 1980/1991		1,78%
Tasa de crecimiento 1991/2001		2,29%
Tasa de crecimiento adoptada período 2001/2007		1,91%

Valor adoptado para el periodo 2007-2008: 2,29%

VCO: TASA DE VENTA DE COCHES. ADOPTADA PARA EL PERIODO 2007-2008: 1,849%

(calculada tomando la tasa promedio de crecimiento de venta entre 2007 y 2008 y dividiéndola por 10 para tener en cuenta las salidas de autos del mercado suponiendo que las entradas de autos al sistema son mayores que las salidas de autos al sistema es por eso que es positiva)

VENTAS TOTALES A CONCESIONARIOS

Mes	Por las terminales		distribuidores		Total	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Enero	44.145	51.551	1.560	3.620	45.705	55.171
Febrero	42.219	44.407	1.240	3.000	43.459	47.407
Marzo	44.210	53.991	1.520	3.300	45.730	57.291
Abril	43.764	55.621	1.390	3.530	45.154	59.151
Mayo	42.390	55.627	1.400	3.650	43.790	59.277
Junio	44.215	48.938	1.590	3.270	45.805	52.208
Julio	48.578	51.078	1.990	3.730	50.568	54.808
Agosto	46.848	50.431	1.800	3.550	48.648	53.981
Septiembre	45.760	49.069	1.850	4.090	47.610	53.159
9 meses	402.129	460.713	14.340	31.740	416.469	492.453
Octubre	47.842	0	2.125		49.967	0
Noviembre	46.042	0	2.150		48.192	0
Diciembre	48.048	0	2.250		50.298	0

TCON: TASA DE CONSTRUCCION

Superficie a construir registrada por permisos de edificación en 42 municipios (nómina reducida)

Último dato: septiembre 2008

Período		Superficie cubierta (m ²)	Variación Porcentual		
			Respecto del período anterior	Respecto de igual mes del año anterior	Del acumulado desde enero respecto de igual acumulado del año anterior
2005	Ene.	569.799	8,8	52,1	52,1
	Feb.	406.736	-28,6	24,6	39,3
	Mar.	565.203	39,0	13,2	28,5
	Abr.	611.311	8,2	57,9	35,6
	Mayo	674.222	10,3	66,3	41,9
	Jun.	789.441	17,1	45,5	42,7
	Jul.	637.772	-19,2	40,5	42,3
	Ago.	602.838	-5,5	20,4	39,2
	Sep.	712.229	18,1	13,4	35,2
	Oct.	629.659	-11,6	7,7	31,8
	Nov.	889.630	41,3	56,2	34,5
	Dic.	758.972	-14,7	44,9	35,4
2006	Ene.	^e 659.316	-13,1	15,7	15,7
	Feb.	^e 643.489	-2,4	58,2	33,4
	Mar.	^e 662.150	2,9	17,2	27,5
	Abr.	^e 694.240	4,8	13,6	23,5
	Mayo	^e 868.849	25,2	28,9	24,8
	Jun.	^e 827.045	-4,8	4,8	20,4
	Jul.	^e 989.837	19,7	55,2	25,6
	Ago.	^e 798.876	-19,3	32,5	26,5
	Sep.	^e 799.054	0,0	12,2	24,7
	Oct.	^e 777.096	-2,7	23,4	24,5
	Nov.	^e 883.576	13,7	-0,7	21,4
	Dic.	^e 942.751	6,7	24,2	21,6

(Continúa en página siguiente)

**Superficie a construir registrada por permisos de edificación en 42 municipios (nómina reducida) -
Continuación de página anterior**

Último dato: septiembre 2008

Período		Superficie cubierta (m ²)	Variación Porcentual		
			Respecto del período anterior	Respecto de igual mes del año anterior	Del acumulado desde enero, respecto de igual acumulado del año anterior
2007	Ene.	684.638	-27,4	3,8	3,8
	Feb.	689.622	0,7	7,2	5,5
	Mar.	819.031	18,8	23,7	11,6
	Abr.	770.857	-5,9	11,0	11,5
	Mayo	^e 808.597	4,9	-6,9	6,9
	Jun.	^e 806.983	-0,2	-2,4	5,2
	Jul.	^e 783.120	-3,0	-20,9	0,3
	Ago.	^e 736.400	-6,0	-7,8	-0,7
	Sep.	^e 709.976	-3,6	-11,1	-1,9
	Oct.	^e 920.654	29,7	18,5	0,1
	Nov.	^e 751.148	-18,4	-15,0	-1,4
	Dic.	^e 1.129.719	50,4	19,8	0,7
2008	Ene.	^e 844.301	-25,3	23,3	23,3
	Feb.	^e 612.545	-27,4	-11,2	6,0
	Mar.	^e 623.079	1,7	-23,9	-5,2
	Abr.	^e 816.927	31,1	6,0	-2,3
	Mayo	^e 985.259	20,6	21,8	2,9
	Jun.	^e 709.922	-27,9	-12,0	0,3
	Jul.	^e 992.853	39,9	26,8	4,1
	Ago.	^e 848.117	-14,6	15,2	5,5
	Sep.	^e 720.815	-15,0	1,5	5,1

Observaciones:

^e dato estimado

Esta información se actualiza con el informe de prensa Indicadores de Coyuntura de la Actividad de la Construcción.

Variaciones porcentuales del indicador sintético de la actividad de la construcción base 1997=100

Último dato: septiembre 2008

Período		Variación porcentual				
		respecto del mes anterior		respecto de igual mes del año anterior		del acumulado desde enero hasta cada mes del mismo año respecto de igual acumulado del año anterior -
		Con estacionalidad	sin estacionalidad	con estacionalidad	sin estacionalidad	
2007	Sep.	-5,3	-4,7	0,4	1,9	4,8
	Oct.	9,5	3,6	12,7	10,9	5,7
	Nov.	5,1	2,0	8,8	8,7	6,0
	Dic.	-13,5	-1,9	10,4	10,5	6,4
2008	Ene	2,1	2,7	13,5	13,9	13,5
	Feb.	-3,1	0,5	13,9	9,5	13,7
	Mar	-3,2	-1,3	6,9	12,4	11,4
	Abr.	13,4	7,1	22,8	17,5	14,2
	Mayo	-5,7	-4,5	3,9	5,4	12,0
	Jun.	-13,9	-8,5	-6,4	-6,5	8,8
	Jul.	18,5	10,8	9,8	7,5	9,0
	Ago.	-0,6	-3,3	-2,2	0,9	7,4
	Sep.	5,8	-0,2	9,4	5,7	7,6

Fuente: INDEC.

El Indicador Sintético de la Actividad de la Construcción (ISAC) refleja la evolución del sector de la construcción a partir del comportamiento de un conjunto de insumos representativos. En esta etapa se cuenta con ocho insumos básicos: cemento, hierro redondo, revestimientos cerámicos, pinturas para construcción y uso doméstico, vidrio plano, ladrillos huecos, asfalto y tubos sin costura. El ISAC tiene periodicidad mensual y refleja la actividad de la construcción tanto en el sector público como privado. Si bien el seguimiento de la producción del sector mediante este método es parcial puede considerarse al ISAC como una primera aproximación a la realidad.

Se incluyen las construcciones nuevas, las ampliaciones y los gastos realizados para mejoras realizados por los hogares. El seguimiento del bloque se sigue mediante el estudio de las series de cemento, hierro redondo, revestimientos cerámicos, pinturas para construcción y uso doméstico, vidrio plano y ladrillos huecos.

Edificación para vivienda y otros destinos	74,61%
Construcciones petroleras	2,20%
Obras Viales	5,78%
Otras Obras de Infraestructura	17,41%

La fuente principal de datos es un relevamiento de los principales productores de una canasta de insumos considerados centrales en la actividad constructora. Para cada insumo, el índice elemental de producción se calcula mensualmente relacionando la cantidad producida del mes *t* con el valor mensual de la misma para el año base (1993). Es decir, la expresión básica del cálculo corresponde a un índice de cantidades. Cuando se dispone de nueva información sobre un producto es incorporada al cálculo asignándole cantidad en 1993 y corrigiendo las ponderaciones dentro del bloque.

Avance de Permisos de Edificación

Se ofrecen cifras mensuales de superficie cubierta autorizada para construcciones privadas nuevas y ampliaciones en 42 municipios representativos de distintas regiones del país. Los permisos indican intenciones de construcción por parte de los particulares, a la vez que anticipan la futura oferta real de unidades inmobiliarias y dan una idea aproximada del nivel de actividad que se espera para los próximos meses.

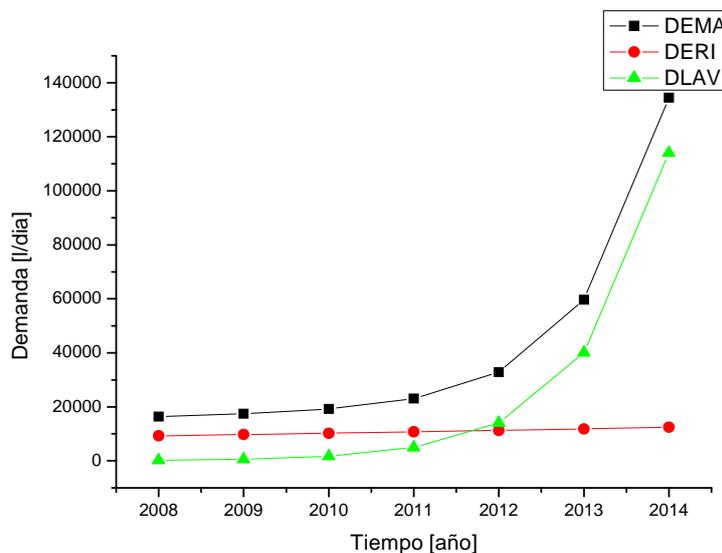
III-HIPOTESIS SOBRE EN LO QUE SE FUNDA EL MODELO

1. Se considera el consumo de cada habitante para atender sus usos diarios de higiene (personal y del hogar), bebida, comida y riego de espacio verde privado, como una cantidad promedio de agua expresada en litros por habitante y por día, denominada dotación de consumo doméstico.

2. Se excluye usos específicos tales como el riego de calles, riego de espacios verdes comunes (plazas, parques, etc.).
3. Se excluye la cuantificación de agua perdida por fugas en redes y conducciones.
4. Toda la información se obtiene de la encuesta realizada por familia, vinculada a un N° de parcela y N° de manzana, definida catastralmente.
5. Las variables sobre las que, el prestatario de servicio, tiene capacidad de incidir son las referidas a el sistema de agua potable y sistema cloacal: micro medición, sector a incorporar al servicio cloacal y sistema tarifario. El crecimiento de la población, el aumento de la superficie cubierta (referidas a la superficie regable), la variación de n° de coches por parcela, etc. son variables, no controlables por el operador. Si bien estas variables, fueron analizadas conceptualmente, deberán, en una segunda etapa del trabajo, ser abordadas, teniendo en cuenta la complejidad que representan.
6. La calidad del agua que llega a cada parcela de una misma manzana, es igual en calidad, cantidad y presión.

IV-SIMULACIÓN A PARTIR DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Para llevar a cabo esta simulación se usaron los datos presentados en el **Anexo A**. Se busca tener una idea de cómo evolucionará la demanda en la manzana 36 de la encuesta realizada por CEGELAH en la localidad del Crespo Provincia de Entre Ríos Argentina. Planteada la situación actual se obtuvieron los siguientes resultados:



Año	DEMA	DERI	DLAV	Diferencia
2008	16364,94	9266,605	213,3333	6885,0017
2009	17385,95	9735,495	607,7867	7042,6683
2010	19163,64	10228,11	1731,584	7203,946
2011	23047,85	10745,65	4933,283	7368,917
2012	32881,97	11289,38	14054,92	7537,67
2013	59613,38	11860,63	40042,48	7710,27
2014	134428,6	12460,77	114081	7886,83

Se puede observar que hasta el año 2011 se puede esperar que el mayor aporte de a la demanda total de agua en la manzana sea hecho por la demanda para riego de espacios verdes, mientras que a partir del año 2012 cobraría importancia la demanda para lavado de autos. También se observa que la demanda para hábitos de higiene y usos domésticos, representada por “diferencia” es del mismo orden de magnitud que DERI y no sufriría grandes modificaciones.

V-EXPERIMENTO

Definiendo como variables estratégicas las siguientes: MEDI, CLOA, FRIG, FRLA, COCO, RIM2. Ya que sobre estas se puede tener alguna tipo de influencia manejada por campañas publicitarias y/o políticas del operador o el estado, las restantes variables de entrada son consideradas como variables de escenario ya que sobre ellas el operador no tienen influencia.

Se plantearon dos estrategias extremas, en una de ellas se desea disminuir el consumo instalando medidores en todas las parcelas, y no prestando servicio de cloacas a ninguna parcela. Mientras que la otra plantea el caso más desfavorable de consumo en el cual ninguna parcela posee medidor, y todas poseen servicio de cloacas.

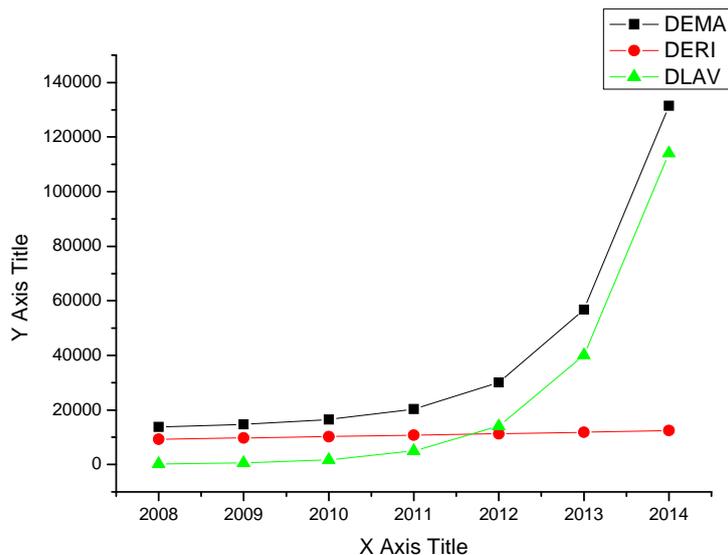
Por otro lado se plantearon **dos escenarios**:

1. una explosión demográfica con un incremento de la tasa de crecimiento en 5 veces el valor actual y una completa disminución del lavado de coches por falta de lugar, debido a la explosión demográfica, esto implicaría que el lavado de coches se lleve a cabo fuera de la manzana, por lo que se impondría un valor nulo a la frecuencia de lavado.
2. Se plantea la situación en que la cantidad de habitantes se mantiene constante, por ejemplo por equilibrio del saldo migratorio con el crecimiento poblacional, y un uso excesivo de agua para el lavado de autos.

Los datos necesarios a cambiar en la tabla del Anexo A, para este experimento en cada combinación de estrategia-escenario se presentan a continuación como así también los resultados:

Estrategia 1: medidores en todas las parcelas, y no servicio de cloacas en todas las parcelas.

Manzana	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
Parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MEDI [0,1]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CLOA[0,1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

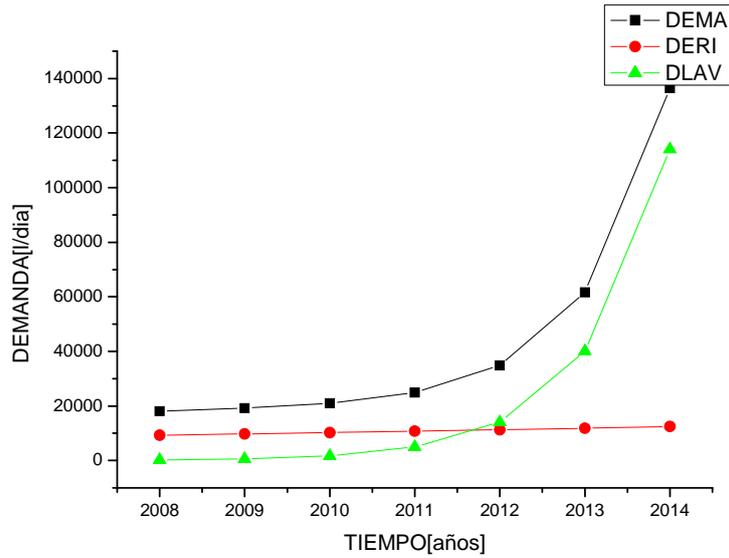


Año	DEMA	DERI	DLAV	Diferencia
2008	13799,94	9266,605	213,3333	4320,0017
2009	14762,21	9735,495	607,7867	4418,9283
2010	16479,82	10228,11	1731,584	4520,126
2011	20302,57	10745,65	4933,283	4623,637
2012	30073,82	11289,38	14054,92	4729,52
2013	56740,92	11860,63	40042,48	4837,81
2014	131490,4	12460,77	114081	4948,63

Al aplicar esta estrategia se observó, que se influyó directamente sobre “diferencia” provocando una disminución en la misma, pero el nivel global el valor de DEMA no se vio muy afectado. Esto indica que deberían investigarse las influencias del servicio medido, sobre DERI y DLAV.

Estrategia 2: no medidores en todas las parcelas y servicio de cloacas en todas las parcelas.

Manzana	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
Parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MEDI [0,1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLOA[0,1]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

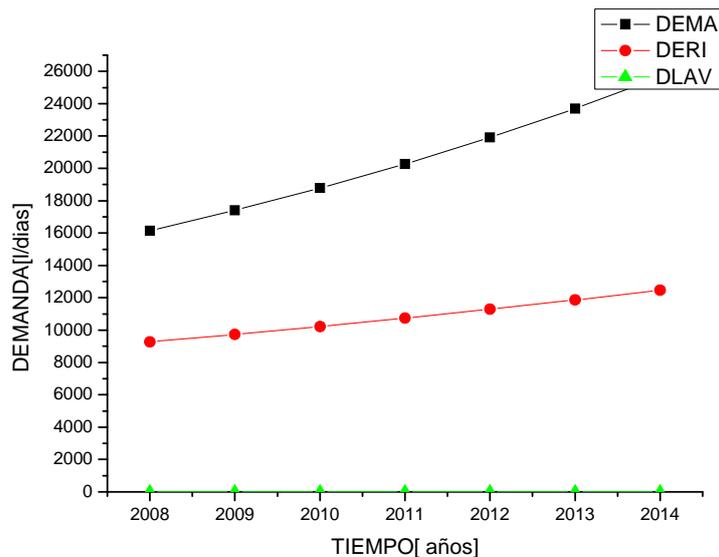


Año	DEMA	DERI	DLAV	Diferencia
2008	18119,94	9266,605	213,3333	8640,0017
2009	19181,14	9735,495	607,7867	8837,8583
2010	20999,94	10228,11	1731,584	9040,246
2011	24926,2	10745,65	4933,283	9247,267
2012	34803,33	11289,38	14054,92	9459,03
2013	61578,74	11860,63	40042,48	9675,63
2014	136439	12460,77	114081	9897,23

Como resultado de esta estrategia y como era de esperarse se observó que “diferencia” incrementaría su valor, nuevamente la influencia este incremento no es significativo sobre el valor de DEMA.

Escenario 1: Explosión demográfica y lavado de coches completamente fuera de la manzana.

Manzana		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
Parcela		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
TCRE[H]	Habitantes/año	11,45%															
FRLA	Adimensional	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

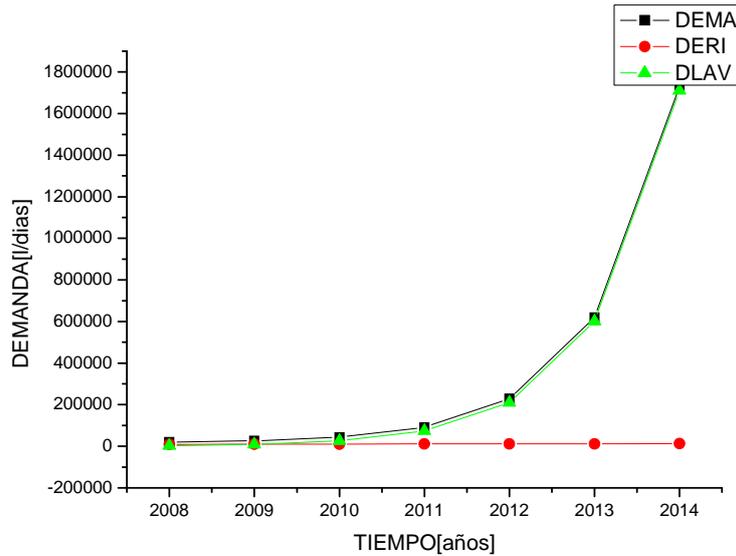


Año	DEMA	DERI	DLAV	Diferencia
2008	16151,61	9266,605	0	6885,005
2009	17408,83	9735,495	0	7673,335
2010	18780,04	10228,11	0	8551,93
2011	20276,78	10745,65	0	9531,13
2012	21911,82	11289,38	0	10622,44
2013	23699,33	11860,63	0	11838,7
2014	25655,02	12460,77	0	13194,25

Bajo este escenario, se observa claramente la alta influencia de DLAV sobre DEMA. También se observa el incremento de “Diferencia”; respuesta justificada por el aumento del número de habitantes.

Escenario 2: Valor constante del número de habitantes y excesivo lavado de coches.

Manzana		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
Parcela		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
TCRE[H]	Habitantes/año	0%															
FRLA	Adimensional	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



Año	DEMA	DERI	DLAV	Diferencia
2008	19351,61	9266,605	3200	6885,005
2009	25737,29	9735,495	9116,8	6884,995
2010	43086,88	10228,11	25973,76	6885,01
2011	91629,9	10745,65	73999,24	6885,01
2012	228998,2	11289,38	210823,8	6885,02
2013	619382,8	11860,63	600637,1	6885,07
2014	1,73E+06	12460,77	1,71E+06	6879,23

En un escenario como este se tendría un máximo de demanda, queda totalmente en evidencia el gobierno que posee DLAV sobre DEMA.

VI-CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

Con un modelo “simple” se observó la preponderancia que posee el uso del agua para el lavado de coches, en la determinación de la demanda, y deja abierta la exploración, para trabajos futuros, de la relación entre el uso de servicio medido MEDI y la demanda de agua para lavado de coches (DLAV). Se puede concluir que es vital el carácter estratégico que poseen las variables que gobiernan DLAV, si estas fuesen variables de escenario, se debería orquestar la manera de transformarlas en variables de estrategia; por ejemplo, si se desea disminuir la frecuencia de lavado de coches FRLA se podrían llevar a cabo campañas publicitarias con este fin.

Dada la influencia a corto plazo observada en la demanda para riego DERI, también es importante investigar la relación de esta con el uso de servicio medido MEDI.

Anexo A

manzana		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Parcela		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MEDI [0,1]		0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1
CLOA [0,1]		1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
TCRE[H]	Habitantes/año	2,29%															
HABP	Habitantes	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
SUPA	m ²	271,82	182,52	150,51	150,51	150,51	152,24	129,92	148,22	151,38	151,38	151,38	210,57	266,22	320,08	366,49	210,32
SURE	Adimensional	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700
SUCU	m ²	51,00	87,00	67,00	66,00	54,00	87,00	69,00	71,00	74,00	127,00	95,00	54,00	147,00	44,00	44,00	0,00
TCON	m ² /año	5,06%															
FRIG	veces/semana	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
FRLA	adimensional	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
COCO	Litros/coche/lavado	200															
NCPA	coches	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
IVCO	coches/año	1,85%															
RIM2	litros/m ²	3															



Variables de escenario



Variables de estrategia

Anexo B

Variables Intervinientes en el Modelo y relaciones funcionales entre las mismas.

Significado de los códigos entre corchetes:

ince: si lleva o no incertidumbre.

cval: número de cambios de valor a lo largo del tiempo (caso de ser variable de entrada)

ndim: número de dimensiones (1 si es un vector, 2 si es una matriz, etc.).

d1, d2, etc.: longitud de la primera dimensión, segunda, etc.

esta: si la variable es de estado o no (requiere o no un valor inicial).

inic: nombre de la variable que representa el valor inicial de la variable de estado.

tabl: si la variable viene determinada por una tabla o no.

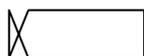
npun: número de puntos de la tabla.

Significado de los símbolos.



Variables de Estado o Niveles

Son variables almacenables, de stock o de fondo



Variables de Flujo

Son las variables que afectan al comportamiento de las variables de estado, o niveles, haciendo que aumenten o disminuyan.



Variables Auxiliares

Son magnitudes que ayudan a explicar los valores de los flujos.



Variables Exógenas

También llamadas independientes, son externas al sistema, pero que actúan sobre el comportamiento de este. Son los datos del problema.



Fuentes o sumideros

Cuando la procedencia o destino de los materiales o elementos no son de interés para el estudio en cuestión se conviene que están dirigidos sumideros que no se llenan o provienen de fuentes inagotables.

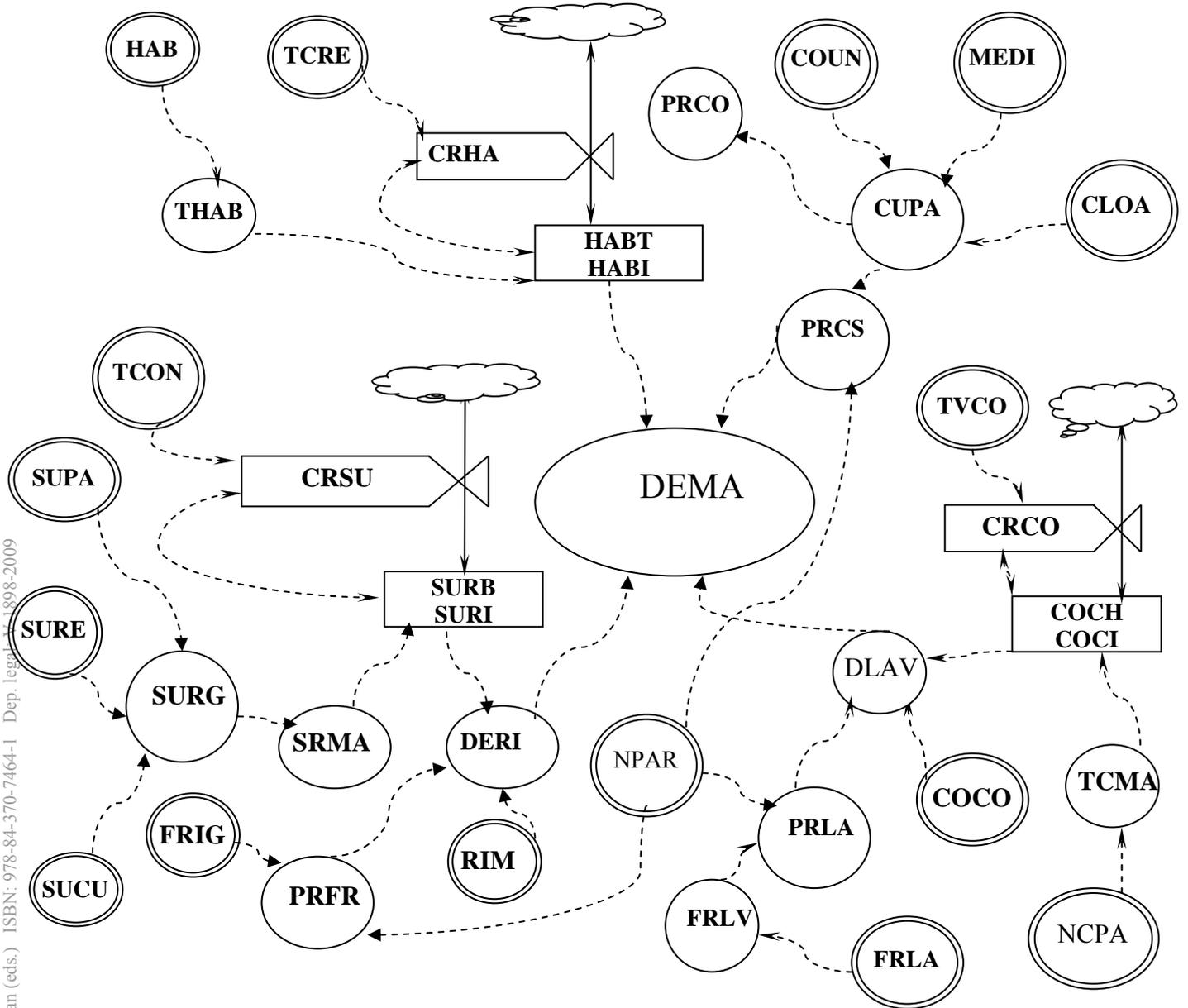
Variable	Nombre	Características y/o Cálculo de su valor	Explicación
(NPAR)	Numero de parcelas	[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Nº de parcelas en la manzana.
(COUN)	Consumos Unitarios	[ince=n;cval=00;ndim=2;d1=6;d2=3;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Consumos domésticos expresados en l/hab/día
(MEDI)	Medidor Indica la existencia o no de medidor	[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Indica si el servicio es medido o no en cada parcela.
(CLOA)	Cloaca indica la Existencia o no de Cloaca	[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Indica si la parcela tiene servicio cloacal.
(CUPA)	Consumos unitarios por parcela	[ince=n;cval=00;ndim=2;d1=9;d2=NPAR;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Consumos domésticos según si: la parcela tiene sistema medido- servicio cloacal- y sus posibles combinaciones.
(PRCO)	Consumo promedio por manzana	[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Consumo domestico por manzana promedio de cada Una de las parcelas
(TCRE)	Tasa de crecimiento del N° de habitantes	Periodo 2007-2008:	Tasa de crecimiento de Nª de habitantes, adoptada según datos de censo 1991-2001.
CRHA	Crecimiento del N° de Habitantes	$CRHA = HABI * TCRE$	Aumento de números de habitantes en el periodo considerado.
HABT	Numero de habitantes	$HABT = HABI + CRHA$	Habitantes totales .
HABI	Numero de habitantes inicial	[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Nº de habitantes iniciales datos tomados de la encuesta
(HABP)	Numero de habitantes por parcela	[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Datos tomado de la encuesta.
(THAB)	Numero de habitantes por manzana	$THAB = THAB + HABT$	
(SUPA)	Superficie de parcela m2	[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Datos tomado de la encuesta.
(SURE)	Porcentaje Útil regable	Datos adoptado	Se asigna de la superficie libre de la parcela, sin edificación, un porcentaje de espacio verde a ser regado.
(SUCU)	Superficie Cubierta por	[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]	Datos tomado de la encuesta.

	parcela m ² parcela		
SURG	Superficie Regable por parcela m ² parcela	$SURG = (SUPA - SUCU) * SURE$	Superficie regable.
SRMA	Superficie regable de la manzana m ²	Sumatoria de las superficies regables [ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;] srma=srma+surg(i1)	
TCON	Tasa de aumento superficie	[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;]	Tasa de aumento de la superficie construida Datos de INDEC.
CRSU	Crecimiento de la superficie de riego m ²	$CRSU = SURI * TCON$	Variación de la superficie apta a ser regada.
SURB	Superficie de Riego m ²	surb=suri+crsu	Sumatoria de superficie
SURI	Superficie de riego inicial m ²	[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;]	Datos tomado de la encuesta.
DERI	Demanda riego día-	$DERI = PRFR / 7 * RIM2 * SURB$	La demanda por riego en unidades de día.
RIM2	Consumo unitario de riego m ²	[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;]	Riego expresado en l/día
FRIG	Frecuencia de riego	ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPARG;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;]	Datos tomado de la encuesta.
PRFR	Promedio frecuencia de riego	$PRFR = PRFR + FRIG$	Promedio frecuencia de riego
FRLA	Frecuencia de lavado de coche	[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPARG;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;]	Datos tomado de la encuesta.
FRLV	Frecuencia de lavado de coche por día.	[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPARG;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;] frlv(i1)=0 elseif frla(i1)=1 then frlv(i1)=1 elseif frla(i1)=2 then frlv(i1)=1/7 elseif frla(i1)=3 then frlv(i1)=1/15 elseif frla(i1)=4 then frlv(i1)=1/30	La frecuencia de lavado de coche de la encuesta referido a un periodo de tiempo: día.
PRLA	Frecuencia promedio de lavado de coche	$PRLA = PRLA + FRLV$	
COCO	Consumo unitario por	[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;]	Datos tomado de la encuesta.

	lavado de coches	$c=...;tabl=n;npun=..;$	
NCPA	Numero de coches por Parcela	$[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;]$	Datos tomado de la encuesta.
TCMA	Numero total de coches manzana coche	$TCMA=TCMA+NCPA$	Sumatoria de coches por manzana.
CRCO	Crecimiento del N° de coches	$CRCO=COCI*TVCO$	Indica aumento/ disminución de coches en tiempo.
COCH	Numero Coches	$coch=coci+crco$	
COCI	Numero Coches inicial	$[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;]$	Datos tomado de la encuesta.
TVCO	Tasa de aumento de coches	$[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=...;tabl=n;npun=..;]$	Tasa de que indica variación en la venta de coches.
DEMA	Demanda de agua en una manzana	$Dema=habt*prcs+deri+dlav$	Demanda de agua por manzana expresada en l/habxdía.
DLAV	Demanda lavado de coches l/dia	$dlav=coch*coco*prla$	
PRCS	Sumatoria de los consumos unitarios.	$prcs=prcs+prco(i1)$	
PRCO	Promedio de consumos unitarios por manzana	$prco(i1)+cupa(i2,i1)$	

Anexo C

Diagrama hidrodinámico o de Forrester



Anexo D

Fichero "Ldemanda.txt": lista de variables con sus características que sirve de entrada al generador SIGEM

Significado de los códigos entre corchetes:

ince: si lleva o no incertidumbre.

cval: número de cambios de valor a lo largo del tiempo (caso de ser variable de entrada)

ndim: número de dimensiones (1 si es un vector, 2 si es una matriz, etc.).

d1, d2, etc.: longitud de la primera dimensión, segunda, etc.

esta: si la variable es de estado o no (requiere o no un valor inicial).

inic: nombre de la variable que representa el valor inicial de la variable de estado.

tabl: si la variable viene determinada por una tabla o no.

npun: número de puntos de la tabla.

NPAR Numero de parcelas
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

COUN Consumos Unitarios
[ince=n;cval=00;ndim=2;d1=4;d2=3;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

MEDI Medidor Indica la existencia o no de medidor
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

CLOA Cloaca indica la Existencia o no de Cloaca
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

CUPA Conumos unitarios por parcela
[ince=n;cval=00;ndim=2;d1=NPAR;d2=4;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

TCRE Tasa de crecimiento del N° de habitantes
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

CRHA Crecimiento del N° de Habitantes
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

HABT Numero de habitantes
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=s;inic=HABI;tabl=n;npun=..;]

HABI Numero de habitantes inicial
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

HABP Numero de habitantes por parcela
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;tabl=n;npun=..;]

THAB Numero de habitantes por manzana hab
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

SUPA Superficie de parcela m2
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;t
abl=n;npun=..;]

SURE Porcentaje Util regable
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

SUCU Superficie Cubierta por parcela m2parcela
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;t
abl=n;npun=..;]

SURG Superficie Regable por parcela m2parcela
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;t
abl=n;npun=..;]

SRMA Superficie regable de la manzana m2
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

TCON Tasa de aumento superficie de riego
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

CRSU Crecimiento de la superficie de riego m2
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

SURB Superficie de Riego m2
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=s;inic=SURI;tabl
=n;npun=..;]

SURI Superficie de riego inicial m2
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

DERI Demanda riego lSOBREdia
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

RIM2 Consumo unitario de riego lsobrem2
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

FRIG Frecuencia de riego
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;t
abl=n;npun=..;]

PRFR Promedio frecuencia de riego
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

FRLA Frecuencia de lavado de coche
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;t
abl=n;npun=..;]

FRLV Frecuencia de lavado de coche transformada
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;t
abl=n;npun=..;]

PRLA Frecuencia promedio de lavado de coche
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

COCO Consumo unitario por lavado de coches
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

NCPA Numero de coches por Parcela
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=NPAR;d2=.;esta=n;inic=....;t
abl=n;npun=..;]

TCMA Numero total de coches manzana coche
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

CRCO Crecimiento del N° de coches
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

COCH Numero Coches
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=s;inic=COCI;tabl
=n;npun=..;]

COCI Numero Coches inicial
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

TVCO Tasa de aumento de coches
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

DEMA Demanda de agua en una manzana
ldia[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;
tabl=n;npun=..;]

DLAV Demanda lavado de coches ldia
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

PRCS Sumatoria de los consumos unitarios
[ince=n;cval=00;ndim=0;d1=.;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

PRCO Promedio de consumos unitarios por manzana
[ince=n;cval=00;ndim=1;d1=4;d2=.;esta=n;inic=....;tabl
=n;npun=..;]

Anexo E

Fichero "Gdemanda.txt": lista de relaciones funcionales entre las variables del modelo, que sirve de entrada al generador SIGEM

```
SURG surg(i1)=(supa(i1)-sucu(i1))*sure
DLAV dlav=coch*coco*prla
CUPA if (medi(i1)=1 and cloa(i1)=0) then
      cupa(i1,i2)=coun(i2,1)
      elseif (medi(i1)=1 and cloa(i1)=1) or (medi(i1)=0
and cloa(i1)=0) then cupa(i1,i2)=coun(i2,2)
      else cupa(i1,i2)=coun(i2,3)
      endif
SURB if t=1 then surb=srma else surb=suri+crsu
CRSU crsu=suri*tcon/100
DERI deri=prfr/7*rim2*surb
PRFR prfr=0:for i1=1 to npar:prfr=prfr+frig(i1):next
      prfr=prfr/npar
THAB thab=0:for i1=1 to npar:thab=thab+habp(i1):next
HABT if t=1 then habt=thab else habt=habi+crha
CRHA crha=habi*tcrc/100
PRLA prla=0:for i1=1 to npar:prla=prla+frlv(i1):next
      prla=prla/npar
TCMA tcma=0:for i1=1 to npar:tcma=tcma+npcpa(i1):next
COCH if t=1 then coch=tcma else coch=coci+crco
CRCO crco=coci*tvco
FRLV if frla(i1)=0 then
      frlv(i1)=0
      elseif frla(i1)=1 then frlv(i1)=1
      elseif frla(i1)=2 then frlv(i1)=1/7
      elseif frla(i1)=3 then frlv(i1)=1/15
      elseif frla(i1)=4 then frlv(i1)=1/30
      endif
PRCO prco(i1)=0:for i2=1 to
      npar:prco(i1)=prco(i1)+cupa(i2,i1):next
      prco(i1)=prco(i1)/npar
PRCS prcs=0:for i1=1 to 4:prcs=prcs+prco(i1):next
DEMA dema=habt*prcs+deri+dlav
SRMA srma=0:for i1=1 to npar:srma=srma+surg(i1):next
```

Metodología de trabajo utilizada durante la Pasantía de personal del CEGELAH en la Ciudad de VALENCIA (España)

Por Arq. Inés Vince de Rodrigo y Mg. Arq. Mario Nudelman

Objetivo general y planificación de las pasantías

En cumplimiento con la última etapa de un proyecto internacional, ejecutado en forma conjunta por el CEGELAH (Centro para la Gestión Local Sostenible del Agua y el Hábitat Humano) de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UADER (Argentina) y el Grupo de Sistemas Generales del Dpto. de Matemáticas Aplicadas de la Universidad de Valencia (España) , financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional y Desarrollo (AECID), cuatro integrantes del centro de investigación realizaron una pasantía en Valencia.

El Objetivo principal de la misma fue rescatar la experiencia del grupo valenciano en el diseño y transferencia de modelos de simulación por ordenador, como soporte para la toma de decisiones en la planificación municipal. Este Objetivo estuvo justificado en el hecho de que el CEGELAH tiene a este tipo de procesos como centro de su actividad de I+D. Al ser un Centro de reciente formación es imperativa la búsqueda de referencias relevantes en este campo.

Por ello, antes de partir a tierras valencianas se diseñaron los términos de referencia para los tres pasantes, a saber:

Proyecto PCI UV/UADER – Términos de Referencia Pasantía de la doctora en Pedagogía Nancy Romea



Objetivo:

Relevamiento de Información entorno a procesos de capacitación de recursos humanos pertenecientes o actuantes en gobiernos municipales de la Provincia de Valencia en el uso y aplicación de programas informáticos utilizables en procesos de planificación local.

Programas Informáticos:

Podrán ser Aplicaciones especialmente diseñadas para facilitar los procesos de toma de decisiones locales (Ejemplo: Modelos que simulen el comportamiento de condiciones urbanas como el tráfico, o de Servicios como los Abastecimientos de agua, o que ayuden a la priorización de proyectos municipales, Etc.) como herramientas

auxiliares de dichos procesos (Ejemplo: Diseño y gestión de Base de Datos, Estadísticas, Programas Gis – Información Georreferenciada).

Municipios:

Se priorizará el registro de experiencias en municipios entorno a los 20.000 habitantes o menos. Esta priorización no es excluyente.

Componentes a relevar:

1) Antes y durante la Capacitación

- Objetivos de los Programas Informáticos
- Objetivos de los Programas de Capacitación. Organización Ejecutante y financiante.
- Perfil completo de los participantes como alumnos. Organismos de pertenencia
- Perfil completo de los docentes. Organismos de Pertenencia.
- Programa de la Capacitación diseñado. Programa ejecutado.
- Infraestructura y equipamiento utilizado.
- Duración – Becas - Título o Certificado Obtenido
- Material didáctico utilizado en Clase - Ejemplos prácticos utilizados en Clase
- Organización y Ejecución de Experiencias prácticas utilizadas. Localización de las mismas.
- Evaluación de los alumnos. Tipo de Evaluación realizada. Resultados obtenidos.
- Evaluación del Proceso de Capacitación. Autoevaluación y/o Evaluación externa. Evaluación de los alumnos. Resultados obtenidos.

2) Después de la capacitación

- Grado de Aplicación de los Conocimientos en el Entorno Municipal.
- Incorporación de dichos conocimientos a procesos de planificación municipal
- Testimonios de Informantes claves a cerca del uso de las herramientas transferidas en el ambito de la planificación municipal.

Información complementaria

En forma complementaria se ejecutará una búsqueda de información referida a:

- Experiencias Formativas de Personal municipal en Programas Informáticos
- Vinculación con el Centro MIDE de la Universidad de Valencia entorno a experiencias de innovación pedagógica en la transferencia de programas informáticos.
- Artículos científicos afines a dichas experiencias.
- Formación de Posgrado afin a los Objetivos del Área de Transferencia de Tecnología orientada al Agua y el Saneamiento del CEGELAH.

Informe:

Con el material, registros y testimonios recogidos, se elaborará un Informe denominado “Recomendaciones para la transferencia de Programas Informáticos aplicables a la Planificación en el ámbito municipal, basadas en Experiencias de la Comunidad Valenciana”

**Proyecto PCI UV / UADER Términos de referencia
Pasantía de la Arq. Inés Vince de Rodrigo**



Objetivo:

Relevamiento de Información a cerca de procesos de Planificación Urbana, especialmente del sector del agua y el saneamiento, en gobiernos municipales de la Provincia de Valencia donde se aplique de programas informáticos utilizables en dichos procesos .

Programas Informáticos:

Podrán ser Aplicaciones especialmente diseñadas para facilitar los procesos de toma de decisiones locales (Ejemplo: Modelos que simulen el comportamiento de condiciones urbanas como el tráfico, o de Servicios como los Abastecimientos de agua (Tipo EPANET), o que ayuden a la priorización de proyectos municipales, Etc.) como herramientas auxiliares de dichos procesos (Ejemplo: Diseño y gestión de Base de Datos, Estadísticas, Programas Gis – Información Georreferenciada).

Inclusive Programas tipos “Aquatool” como asistente a la gestión de cuencas hidrográficas.

Municipios:

Se priorizará el registro de experiencias en municipios entorno a los 20.000 habitantes o menos. Esta priorización no es excluyente.

Componentes a relevar:

A partir de Iniciativas ejecutadas los últimos cinco años (no excluyentes), especialmente en el sector del Agua y el Saneamiento, se procederá a la:

1) Identificación y caracterización de los Actores Intervinientes en los Procesos de Planificación

- Servicios Públicos Municipales
- Obras Públicas Municipal
- Planificación Urbana Municipal
- Empresas Privadas encargadas de la ejecución de Urbanizaciones.
- Pobladores y Potenciales usuarios
- Universidad
- Gobierno Provincial (Provincia de Valencia, Generalitat Valenciana).
- Federación de la Cuenca Hidrográfica que corresponda.
- Organismos financiadores (Locales, provinciales, nacionales, comunitarios)

2) Reproducción del Proceso de Planificación local

A partir de la información objetiva disponible y contando con el aporte directo de informantes calificados, se reproducirá la secuencia lógica de planificación ejecutada por el Municipio en estudio. Se describirá cada etapa, las personas intervinientes, las acciones implicadas en cada etapa. Se destacará en cada una el flujo de información para la toma de decisiones en cada instancia.

3) Rol de los Programas Informáticos destacados en el Proceso.

Se buscará el testimonio de las personas que sirvieron de nexo entre la información procesada con los Programas Informáticos y los decisores de las etapas estratégicas del Proceso de Planificación. Destacándose:

- Comunicación con el decisor.
- Informes presentados
- Fiabilidad y grado de utilización de la información procesada.
- Gestión del tiempo entre generación del dato y utilización en el proceso de planificación y toma de decisiones.

Información complementaria

En forma complementaria se ejecutará una búsqueda de información referida a:

- Experiencias participativas de planificación municipal del agua y el saneamiento
- Experiencias de planificación urbana en general y del agua y el saneamiento en particular, asistida por modelos de simulación por ordenador.
- Artículos científicos afines a dichas experiencias.
- Formación de Posgrado afin a los Objetivos del Área de Planificación Urbana orientada al Agua y el Saneamiento del CEGELAH.

Informe:

Con el material, registros y testimonios recogidos, se elaborará un Informe denominado “Recomendaciones para la utilización de Programas Informáticos aplicados en la Planificación urbana, especialmente del sector del agua y el saneamiento del ámbito municipal, basadas en Experiencias de la Comunidad Valenciana”

Proyecto PCI UV/UADER – Términos de Referencia Pasantía del Ingeniero en Sistemas Carlos Schenone



Objetivo:

Relevamiento de Información a cerca de procesos de Producción y Validación de Modelos de Simulación aplicables a la Planificación Urbana, especialmente del sector del agua y el saneamiento, en gobiernos municipales de la Provincia de Valencia donde se aplique de programas informáticos utilizables en dichos procesos .

Programas Informáticos:

Podrán ser Aplicaciones especialmente diseñadas para facilitar los procesos de toma de decisiones locales (Ejemplo: Modelos que simulen el comportamiento de condiciones urbanas como el tráfico, o de Servicios como los Abastecimientos de agua (Tipo EPANET), o que ayuden a la priorización de proyectos municipales, Etc.), inclusive Programas tipos “Aquatool” como asistente a la gestión de cuencas hidrográficas. Se contemplará tanto el diseño del simulador como su interface.

Municipios:

Se priorizará el registro de experiencias en municipios entorno a los 20.000 habitantes o menos. Esta priorización no es excluyente.

Componentes a relevar:

A partir de Iniciativas ejecutadas los últimos cinco años (no excluyentes), especialmente en el sector del Agua y el Saneamiento, se procederá a la:

4) Identificación y caracterización de los Actores Intervinientes en los Procesos de Investigación y Desarrollo del Software.

- Usuarios potenciales de los Organismos Municipales
- Desarrolladores: Investigadores, Profesores, Becarios, Profesionales privados, Empresas especializadas.
- Financiadores (Públicos o Privados)
- Intermediarios comerciales.

2) Reproducción del Proceso de I + D

A partir de la información objetiva disponible y contando con el aporte directo de informantes calificados, se reproducirá la secuencia lógica de I + D, desde la concepción de la idea generadora hasta la validación del Modelo de Simulación. Proceso de publicación y recomendaciones para cada instancia.

5) Reproducción de Proceso de Desarrollo de la Interface

Se identificarán las principales etapas para su desarrollo, prueba y ajustes. Elementos fundamentales para un desarrollo exitoso de la etapa.

6) Bases para una estructura organizacional apropiada

- Basados en la Experiencia del Grupo de Sistemas Generales, testimoniada por integrantes claves, diseñar una forma de organización adaptable al CEGELAH y que inclusive contemple la asistencia técnica del GSG , para el Desarrollo de un Área de I+D+Transferencia de Herramientas y Programas informáticos orientados a la planificación del Sector del Agua y el Saneamiento.

Información complementaria

En forma complementaria se ejecutará una búsqueda de información referida a:

- Modelos de Simulación utilizados exitosamente en la planificación municipal del agua y el saneamiento
- Procesos exitosos de diseño de interfaces amigables a las características de los usuarios municipales y/o provinciales del sector.
- Relevamiento de Revistas Indizadas donde publicar.
- Formación de Posgrado afin a los Objetivos del Área de Modelos de Simulación por Computadora orientada al Agua y el Saneamiento del CEGELAH.

Informe:

Con el material, registros y testimonios recogidos, se elaborará un Informe denominado “Recomendaciones para la Organización del Área de Modelos de Simulación por Computadora del CEGELAH/FCYT a partir de la Experiencia del Grupo de Sistemas Generales de la Universidad de Valencia”.

La delegación del CEGELAH en Valencia

Vale la pena dedicar unos breves párrafos para transmitir a los lectores el significado novedoso y profundo de esta corta pero impactante experiencia de pasantía. Dejando de lado jugosas anécdotas (¿cómo llegar a Valencia a las 3 de la mañana en ómnibus en vez de las 19 horas en avión, gracias una “simpática” huelga solapada de

controladores aéreos!) vale la pena destacar las vivencias particulares del grupo. Por una parte Inés Vince y Carlos Schenone pisaban por primera vez en sus vidas tierras europeas. En Argentina un viaje así no se realiza todos los días. Además, siempre los países europeos han sido una referencia en todos los aspectos y, en su caso llegar a uno como España y en particular Valencia, donde los lazos afectivos e históricos son tan vivos no deja de ser un regocijo. A esto hay que sumarle lo específico del rol de docentes-investigadores, provenientes de una Universidad fundada en el año 2000, donde literalmente está todo por hacerse, tener acceso a una Universidad de más de cinco siglos de existencia, con recursos, conocimientos y personas altamente calificadas difícilmente imaginables, es una experiencia humana irremplazable a la hora de encarar la silenciosa, metódica y áspera tarea de investigar y generar novedosos desarrollos.



Inés, Nancy y Carlos recorriendo el Casco Histórico de Valencia con guía de lujo, Don Antonio Caselles Moncho. Un puesto típico en tiempos de Navidad



Mario Nudelman, Director del CEGELAH en el Colegio Mayor Rector Peset de la Universidad de Valencia, lugar de residencia durante los 13 días de pasantía

Para Nancy Romea y Mario Nudelman en cambio es un regreso a la Ciudad donde vivieron con su familia durante tres increíbles años de formación doctoral. Pero esta pasantía es de alguna manera un regreso con sabor a triunfo: es volver como investigadores, pertenecientes a un Centro de Investigación que diseñó un proyecto internacional, donde los vínculos intelectuales y afectivos cultivados durante esos años han sido un prodigioso puente de cooperación y crecimiento.

La pasantía, con dificultades para resolver sobre la marcha

En el relevamiento de información, tal cual se planificó en los términos de referencia precedentes, se encontró con el serio inconveniente del desfasaje en el tiempo que se realizaron los trabajos de modelización dirigidos a los Municipios valencianos: el primero data del año 1985, a pedido de la diputación de Valencia, denominado “Modelo para la optimización del plan trienal de inversiones”, otro encargado especialmente por la Federación Española de Municipios: “Modelo para la simulación de la gestión de ayuntamientos y diputaciones” del año 1989 y otro Financiado por la Conselleria de Administración Pública de la Generalitat Valenciana: “Aplicativo que resuelva informáticamente un modelo de gestión municipal y selección óptima de inversiones

con destino a los ayuntamientos adscritos al proyecto ASIA” del año 1996. Se pudo identificar la información archivada de cada modelo de simulación, las aplicaciones informáticas diseñadas, pero el vínculo entre los municipios, la aplicación informática y el Grupo de Sistemas Generales/ Escuela de Investigación operativa no se mantuvo.

Por lo tanto, la idea de reconstruir el proceso de transferencia y recoger las principales fortalezas y debilidades de las aplicaciones según los funcionarios y técnicos municipales que las hayan utilizado resultó un propósito imposible de cumplir.



Un alto en el comedor del Colegio Mayor Rector Peset, luego del arduo trabajo de ajuste de la Programación de la pasantía de los integrantes del CEGELAH/FCYT

Es así que se decidió mantener el objetivo general de las pasantías pero adaptándolos a las condiciones imperantes, a saber:

- 1) Se recuperaría toda la información posible de los modelos mencionados más arriba.
- 2) Se confrontaría las características de la Interface diseñada con información especializada en lo que hace al diseño de las mismas orientadas a usuarios específicos.
- 3) Se resumirían los principales rasgos de los procesos de gestión y planificación urbana en municipios pequeños donde se hayan tenido experiencias recientes. El objeto de ellos sería tener una idea de dichos procesos y valorar las posibilidades de inserción de modelos de simulación como ayuda a tomar decisiones en los mismos.
- 4) Conocer experiencias exitosas de transferencia de tecnologías de la información a usuarios con escasa o nulos conocimientos informáticos.
- 5) También se mantendría la recopilación bibliográfica, contactos institucionales e identificación de propuestas de formación de posgrado como material invaluable para fundamentar solventemente la actividad del CEGELAH dentro de su temática central de I+D.

Para este replanteo se contó con la excelente disposición y cordialidad del Dr. Ing. Antonio Caselles de la Universidad de Valencia y el apoyo incondicional del Presidente de la Sociedad Española de Sistemas Generales, el Dr. Prof. Lorenzo Ferrer Figueras, se realizaron actividades de relevamiento de información documental y bibliográfica, entrevistas con funcionarios de la Generalitat Valenciana, consultoras especializadas en el tema y ex alcaldes de ayuntamientos que están en plena ejecución de programas de urbanización y regadío, como se amplía a continuación.

ACTIVIDADES EJECUTADAS

Búsqueda bibliográfica en la escuela de Investigación Operativa:

El Dr. Ferrer presenta el material disponible para realizar el relevamiento, el cual está formado por los trabajos de consultoría realizados por la Escuela de Investigación Operativa y los trabajos de los alumnos de la Diplomatura en Investigación Operativa y Sistemas bajo la tutela de los docentes de la Escuela.



Reunión introductoria de los pasantes del CEGELAH en la Escuela de Investigación Operativa (EIO) con D. Lorenzo Ferrer Figueras, Presidente de la Sociedad Española de Sistemas Generales y Director de la EIO y con D. Antonio Caselles Moncho, Coordinador Español del Proyecto.

Comenta que el objetivo de la Diplomatura en Investigación Operativa y Sistemas es dotar a los alumnos de una metodología denominada “Proceso de Modelización”, formada por siete etapas que permiten analizar las Realidades pertinentes (Empresa, Organizaciones, Hospitales, Ayuntamientos, Comunidades Autónomas, El Estado, Sociedades, Fuerzas Armadas) para localizar sus problemas de dirección (pilotajes), optimización y simulación de políticas y resolverlos. Estos ítems tienen contacto con los objetivos de la pasantía.

Se recolecta información relacionada con los procesos de Producción y Validación de Modelos de Simulación aplicables a la Planificación Urbana, especialmente del sector del agua y el saneamiento, en gobiernos municipales de la Provincia de Valencia donde se aplican programas informáticos utilizables en dichos procesos. Los programas informáticos considerados de interés podrán ser Aplicaciones especialmente diseñadas para facilitar los procesos de toma de decisiones locales (Ejemplo: Modelos que simulen el comportamiento de condiciones urbanas como el tráfico, o de Servicios como los Abastecimientos de agua (Tipo EPANET), o que ayuden a la priorización de

proyectos municipales, etc.). Se contemplan tanto el diseño del simulador como su interface.

Entrevista a Consultora especializada

El Dr. Ferrer contactó al responsable de la empresa TLP Consulting, especializada en desarrollo de herramientas informáticas para ayuntamientos. El contacto con esta empresa es de interés para la pasantía dado que fue convocada por la Escuela de Investigación Operativa para realizar el desarrollo de la interfaz para la herramienta informática encargada de ayudar al ordenamiento de la gestión de los ayuntamientos de España.



Pasantes del CEGELAH, Dn. Antonio Caselles y parado Dn. Andrés Parreño
Reunión en las oficinas de TLP Consulting

Se entrevistó al Director General de empresa TLP CONSULTING Andrés Parreño Patón⁵, quien presenta un resumen de cuatro proyectos ejecutados por su empresa para ayuntamientos. También resultó de interés tomar contacto con la experiencia de la Consultora en el área de reingeniería de procesos, generalmente siendo contratada por empresas de informática como una avanzada antes de la implantación de sistemas informáticos en el ámbito municipal. El objetivo de esta línea de trabajo en los ayuntamientos es lograr reducciones en el tiempo que demanda un trámite asociado a un expediente.

⁵ Participó en el Proyecto Internacional ASIA del año 1996 sobre Modelos de Simulación que financió la Federación Española de Ayuntamientos.

Generalitat Valenciana

Se obtuvo información sobre un Programa denominado INTERNAUTA, que permite el acceso general a internet de todos los ciudadanos, y en particular a los portales oficiales de las entidades públicas provinciales y locales. Son portales gratuitos.



Entrevista a Dña. Miriam Eibar de la Encina, en las Oficinas de la Consellería de Transporte y Comunicación de la Generalitat Valenciana, explayándose en los componentes del Programa Internauta. Junto a ella el Dr. Antonio Caselles, el Ing. Carlos Schenone y la Dra. Nancy Romea

Resultó de interés dicha entrevista puesto que se procura informatizar no solo a los ayuntamientos si no también permitir mediante una muy apropiada capacitación el acceso del ciudadano común, con escasa formación de informática, a instrumentos web que le posibilite un importante conjunto de oportunidades, entre las que podemos destacar, una acercamiento a las instituciones publicas, a sus servicios y también a un ejercicio adecuado del control ciudadano sobre aspectos de la gestión pública. De esta manera puede participar, por ejemplo cuando se necesita un equipamiento público, si existen ruidos molestos, etc. Es decir todo aquello que impacta sobre el medio ambiente y la vida ciudadana.

El proyecto se concreta en los siguientes niveles de formación y actividades:

- Usuario Básico de Internet (UBI).
- Usuario Medio de Internet (UMI).
- Usuario Avanzado de Internet (UAI).
- Diseñar y ejecutar un sistema de ayudas para fomentar la conectividad

y/o la informatización de los hogares valencianos.

Sus Objetivos son fomentar la incorporación de los ciudadanos de la Comunitat Valenciana a la Sociedad Tecnológica y del Conocimiento, facilitando su formación en nuevas tecnologías y su acceso y uso de Internet, con especial atención a los colectivos que se encuentren en riesgo de exclusión.

Entrevistas a Ex Alcaldes de dos pequeños municipios valencianos



De izquierda a derecha, D. Fabián Molinas concejal y ex alcalde de Azuébar, Arq. Inés Vince (CEGELAH), el ex Alcalde de Soneja y Dra. Nancy Romea (CEGELAH)

Se realizó un trabajo de campo en los ayuntamientos de Azuébar y Soneja⁶, el mismo estuvo centrado en tomar contacto con las principales prácticas de planificación urbana en dichos ayuntamientos. Para ello se realizó una entrevista a los ex alcaldes donde explicaron en que consiste en grandes trazos un Plan General de Ordenación Urbana. En Soneja se pudo observar inclusive en plena ejecución la unidad ejecutora número dos⁷, en la número uno se estaban comenzando a habitar las viviendas.

En cambio en Azuébar el plan de urbanización no se ha ejecutado todavía, pero se pudo observar en ejecución un regadío artificial para 200 hectáreas de almendros y olivos. Cuya energía se obtiene de una granja solar.

Aula Virtual en la Universidad Politécnica de Valencia

Nancy Romea y Carlos Schenone realizaron una entrevista al Técnico en Sistemas Aristóteles Cañero Villegas Responsable de la plataforma de educación virtual "PoliformaT" (Proyecto SAKAI)

Estas herramientas de apoyo a la docencia de la Universidad se basan en la plataforma SAKAY y desarrollos propios, por ejemplo, el sistema de ingreso de notas de los alumnos, si bien la plataforma SAKAY lo permite se prefirió integrar el propio porque los docentes estaban habituados al mismo.

Al docente se le dan las herramientas integradas en la plataforma y los alumnos cargados, luego el docente debe gestionar su clase, aquí se disponen de varios niveles, desde el básico en el cual utilizan la plataforma en la forma tradicional armando su

⁶ Se seleccionaron estos dos Municipios en virtud de la accesibilidad a los mismos y dado en el conocimiento previo personal mantenido por el Director del CEGELAH con el Concejal D. Fabián Molinas.

⁷ La Unidad Ejecutora consiste en urbanizar un determinado número de manzanas, es decir proveerlas de infraestructura completa, y luego edificar.-

pagina dentro del mismo entorno (sin necesidad de conocer de código HTML) y un gestor de contenidos subiendo documentos en formato pdf para que los alumnos lo descarguen. También permite generar contenido multimedia, donde los docentes hacen uso de la herramienta PoliformaT, la cual integra en una ventana, una presentación PowerPoint, una imagen del docente comentando lo que se observa y la posibilidad de utilizar una pizarra electrónica. La generación del contenido se realiza en una sala de grabación a la cual acceden los docentes. Esta herramienta se orienta hacia la concreción de dos objetivos fundamentales, como mantener la atención del alumno (donde fallan las herramientas multimedia tradicionales) y que sea fácil de utilizar. Se puede acceder al portal de esta herramienta en <http://poliformat.upv.es>

Otros contactos de Interés institucional para los Proyectos del CEGELHA/ FCYT

Estos fueron llevados a cabo tanto por el Ing. Schenone como por el Director del CEGELAH/FCYT. El hilo conductor que se siguió fue el de identificar interlocutores en Universidades valencianas en temas vinculados con el diseño de aplicaciones GIS, Programas de software libre GIS y en otro orden la amplia problemática del desarrollo local orientado a la gestión del agua. Los contactos efectuados fueron los siguientes:

1) Grupo Red HISP (Redes Hidráulicas y Sistemas a Presión). Dpto. de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Contactos con su Director el Dr. Ing. Fernando Alzamora y el Ing. Hugo Bertoli. La finalidad fue Recolectar información sobre el trabajo de su grupo en torno al desarrollo de herramientas e interfaces con ArcView para la gestión del agua, en general y del la aplicación GIS RED en particular.

2) Empresa DIELMO. D. José Carlos García González, Director Gerente. Con el objetivo de Recolectar información sobre su trabajo en torno al desarrollo de interfaces para GV-SIG.



Encuentro de D. Francesc Hernández y Mario Nudelman en las Oficinas del Grupo Economía del Agua en el Campus UV Dels Tarongers

3) Entrevista con D. Francesc Hernández del Grupo Economía del Agua del Institut Interuniversitari de Desenvolupament Local Departament de Geografia Universitat de Valencia. Dicho Instituto está constituido por las Universidades de Valencia, Jaume I de Castellón y la de Valparaíso (Chile). La idea del acercamiento fue la de entablar relación con grupos de expertos que hayan tenido trayectoria en la transferencia de herramientas de planificación a municipios, entrono a la gestión sostenible del agua.

Conclusiones

La experiencia de la pasantía trasciende en mucho a los que puede percibirse aplicado en forma directa en esta publicación. El esfuerzo por plantear a la relación entre modelos de simulación y usuarios municipales como objeto de estudio ha sido altamente movilizador: por una parte para los integrantes valencianos del Grupo de Sistemas Generales. El entusiasmo y ductilidad puesto de manifiesto en el plan de trabajo que se explicó en este punto muestran fundamentalmente el interés y relevancia que para este experimentado grupo significa desentrañar las relaciones entre modelo y usuario. Y para los integrantes del CEGELAH ha significado una motivación especial estar empeñados en documentar un tema de alto impacto sobre el éxito de un proceso de modelización de cara a convertirse en una herramienta útil en manos de los decisores y técnicos que cincelan las políticas locales entorno a un recurso estratégico como el agua. Por otra parte el recurso invaluable de las relaciones humanas e institucionales que se tejieron durante la misma tendrá un impacto futuro en el joven Centro CEGELAH/FCYT altamente positivo. El horizonte de proyectos internacionales e Inter.-universitario se nutre justamente de estas relaciones, casi en forma definitiva. De hecho, el presente PCI es un ejemplo de ello.

El entorno de trabajo, de compañerismo, de cultura e historia viva que rodeo a esta visita la convirtieron además en una experiencia humana inolvidable y clarificadora.

Conclusiones Generales

Dr. Ing. Antonio Caselles y Mg. Arq. Mario Nudelman

Los Capítulos precedentes nos muestran principalmente dos aspectos de los Modelos de Simulación aplicados a la toma de decisiones en el sector del agua y el saneamiento.

Por una parte, una base teórica importante, la de la Teoría General de Sistemas que fundamenta el enfoque de componentes e interrelaciones imprescindibles a la hora de abordar la complejidad del tema en cuestión. El Capítulo “Del Paradigma Mecanicista al Sistémico” resultó un formidable ejercicio teórico a la hora de comprender las principales enseñanzas que deja la TGS.

Esta teoría, expresada también en las conferencias dictadas por Pla López y Caselles Moncho en Argentina, goza de “buena salud”. La expresión de esa buena salud queda plasmada tanto en su actualidad (no hay más que encender los telediaros para escuchar hablar de “efecto sistémico” de la crisis financiera internacional, del cambio climático, etc. como una manera de entender las vinculaciones y repercusiones entre componentes de un mismo problema complejo. Pero la “buena salud” de la TGS tiene otra cara orientada no al discurso sistémico, si no al desarrollo de herramientas útiles a la hora de operar sobre dicha complejidad. Los aportes de Caselles Moncho en torno a la pulida y probada metodología para el diseño de Modelos de Simulación por Ordenador. Sin Metodologías como esta, no existiría un portal cierto para acceder a formas concretas de intervenir exitosamente en realidades complejas. El Curso dictado en Paraná, Argentina, puede ser evaluado como exitoso en cuanto a oportunidad pedagógica válida para profesionales vinculados a la orbita del agua y el saneamiento que han hecho un importante esfuerzo en asimilar los pasos, utilizar las herramientas informáticas afines a la metodología (SIGEM, REGINT, EXTRAPOL) y alcanzar productos acertados con la temática propuesta.

Pero también, el abanico temático abordado nos deja entrever otra realidad: en el ámbito geográfico argentino donde se ejecutó el Proyecto, el nivel de desarrollo alcanzado no permitió alcanzar modelos de simulación lo suficientemente abarcativos y afines a las prácticas de planificación local que pudiese ser presentado como herramienta operativa de utilidad incontestable. Tampoco podía pretenderse tal cosa en el marco de un curso corto de formación. Esto queda en evidencia en los dos trabajos prácticos seleccionados como productos producidos en el Curso de PosGrado ya mencionado. Esto no opaca en nada dichos productos. Ambos tienen la virtud de expresar preocupaciones vinculadas a la gestión del agua a nivel local que los profesionales actuantes supieron identificar y luego, precisar componentes relevantes, fijar formas diversas de interrelación entre las mismas en forma de ecuaciones matemáticas y reglas lógicas, construir un simulador dinámico informatizado de la situación, plantear estrategias y escenarios de cara al futuro, ejecutar las simulaciones correspondientes con datos reales y recomendar las decisiones más adecuadas para el logro de los objetivos propuestos. En ambos casos puede decirse que sirven

formidablemente de base para futuros trabajos y posibles integraciones en sistemas más amplios que los contengan.

La limitación en cuanto a desarrollo, no significó para nada un escollo. Sirvió de plataforma a la hora de diseñar un programa de pasantía que como objetivo general tuvo la sistematización de transferencias de este tipo de modelos a municipios de Valencia desde el Grupo de Sistemas Generales / Escuela de Investigación Operativa, como forma de encontrar criterios a la hora de tender puentes de ida y vuelta entre los municipios (especialmente en las esferas donde se toman las decisiones en el sector de servicios que nos ocupa) y el grupo de especialistas-desarrolladores. Estamos entonces hablando de un escalón previo a la tarea de diseñar un modelo de simulación.

En este campo, la reflexión más profunda que puede hacerse es que esa “intersección” entre usuarios y desarrolladores en el campo que nos ocupa, constituye en si misma un campo imprescindible no solo de ejecución de acciones directas, si no también de I+D. La evidencia recogida en Valencia por los pasantes así lo fundamenta. Allí se pueden recoger los aportes muy valiosos de Schenone en cuanto al diseño de la interface de dichos Modelos de Simulación. Esta pasa a ser un correlato de las formas de interrelación de especialidades vinculadas al mismo tema (objeto de Modelización) ideado por Caselles para obtener modelos que expresen la realidad compleja lo mas ajustados posibles a la realidad. En efecto, Schenone plantea la necesidad de una interface gráfica orientada al usuario, también como expresión de la lógica de vincularse los usuarios tanto con el ordenador como con el tema que ocupa nuestra atención: las decisiones en torno al sector del agua y el saneamiento en el medio municipal. Es más, plantea también metodologías sencillas de recogida de información que oriente luego los procesos de actualización del diseño de dicha interface e incluso sugiriendo que se puede ir más allá y plantear los necesarios ajustes del propio modelo de simulación para su mejor adaptación a las características del usuario. Existe inclusive un necesario aporte desde la psicología educativa y la pedagogía a la hora de comprender las capacidades de los usuarios y los necesarios ajustes en procedimientos, secuencias y términos utilizados a la hora de interactuar con el programa.

Aquí aparece entonces un tema planteado con solvencia por Romea, quien aporta criterios prácticos imprescindibles para el diseño de procesos de capacitación y manuales que comprendan desde su génesis las características de los principales usuarios de los programas de simulación.

Ambas esferas deben ser tenidas en cuenta como eslabones imprescindibles a la hora de fijarse como objetivo transferir herramientas que sean realmente operativas y que sirvan de soporte para la toma de decisiones en general y particularmente para las decisiones locales en torno al agua y el saneamiento.

Como contracara de las limitaciones de los alcances del producto obtenido en este Proyecto de Cooperación Inter-universitaria, hay que destacar que los Modelos de Simulación, si bien no han alcanzado directamente a la orbita municipal, si han sido asumidos como nicho de trabajo por el joven Centro CEGELAH / FCYT. Dentro del marco de acción planteado por Nudelman, los mismos constituyen el objeto principal de I+D del Centro. Los conocimientos adquiridos con el Curso de Posgrado impartido, las personas pertenecientes o no al Cegelah que pasan a conformar una incipiente masa crítica dentro de la temática, los aportes valiosos en información sistematizada por parte

de los Municipios de Crespo, Nogoyá y La Paz, la abundante experiencia institucional y personal desarrollada durante la pasantía expresada en el capítulo de Vince y Nudelman, constituyen una formidable base de acciones que ya se están plasmando en Proyectos de I+D recientemente aprobados por la Universidad Autónoma de Entre Ríos y también en las primeras iniciativas de transferencia dentro del Programa Federal de Innovación Tecnológica del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Argentina que pondrán en tensión los criterios forjados dentro del Proyecto de Cooperación.

De esta forma puede decirse con suficiente fundamento que el desempeño de personas, grupos, alumnos e instituciones entorno al Proyecto de Cooperación que aquí expuso su producto final, alcanzó un grado de transferencia a un grupo especializado como el CEGELAH que permitirá a este último desarrollar acciones de corto y mediano plazo tendente a instalar, por una parte, la temática de la gestión sostenible del agua a nivel local y por otra la de transferir herramientas que apoyen la planificación local del sector. De esta manera, se alcanzaron objetivos de cooperación sin generar una dependencia paralizante que invalide las acciones ejecutadas.

Paraná (Argentina) y Valencia (España), 15 de abril del 2009

Notas de Referencia

ⁱ Si consultamos un manual para la formulación de proyectos, incluye dentro de lo que se denomina “Ciclo del Proyecto”, componentes de Identificación, centrada en un Diagnóstico de la realidad, la Formulación, la Ejecución y la Evaluación. CRUZ ROJA ESPAÑOLA, “Manual de Formación Especializada para el Voluntario de la Cruz Roja Española”. Madrid, 1997

ⁱⁱ Existen técnicas grupales que permiten la participación de actores, como el "Rol Player", donde la simulación de aspectos de la realidad se realiza mediante la teatralización de las situaciones de conflicto y la interacción de personajes que representan a los actores sociales intervinientes.

Tanto el concepto de Modelo, como el de simulación, son planteado por diferentes autores que abordan el tema de la Planificación participativa en los Asentamientos Humanos. Ya los podemos ver explicados en las obras de KULLOCK DAVID “Planificación Participativa y Hábitat Popular”, Buenos Aires, 1993 y de ROBIROSA Y LAPALMA en “Turbulencia y Planificación Social”, Buenos Aires, 1990.

ⁱⁱⁱ Es interesante rescatar como la totalidad del proceso es tomada por algunas corrientes del conocimiento (Por ejemplo la Teoría General del Proyecto de Ingeniería de Sistemas) donde el Proyecto adquiere una entidad propia, asumido como un Sistema particular, con aptitudes de ser insertado en un entorno determinado. Es muy ilustrativa en este planteo la obra de GÓMEZ-SENENT MARTÍNEZ, ELISEO “La Ciencia de la Creación de lo artificial, un paradigma para la resolución de problemas”, Valencia, 2003.

^{iv} Esta visión crítica es fruto de la confrontación personal del autor entre los conocimientos adquiridos y transmitidos dentro del sector planteado, la experiencia investigativa dentro de Instituciones como el IIDVi (Instituto de Investigación y Desarrollo en Vivienda, bajo la dirección del Arq. Víctor Pelli) y el CEVE (Centro Experimental de la Vivienda Económica, bajo las direcciones de los Arq. Aurelio Ferrero y Enrique Ortecho), y la práctica profesional dentro del Estado en el sector de la Salud y el Medioambiente de más de doce años.

^v Cuando en esta Nota se habla de Modelos de Simulación por ordenador, se lo hace según el enfoque basado en la Teoría General de Sistemas, desarrollado por el Grupo de Teoría General de Sistemas del Depto. de Matemáticas Aplicadas de la Universidad de Valencia, bajo la dirección de Antonio Caselles Moncho y Lorenzo Ferrer Figueras. Hay que destacar que sería muy extenso destacar los aportes de la Teoría General de Sistemas (TGS) a la Ciencia en General y en particular a los fundamentos del enfoque de este artículo. Para ello resulta muy ilustrativa la consulta a la obra de FERRER FIGUERAS, LORENZO “Del Paradigma mecanicista de la ciencia al Paradigma sistémico”, Valencia 1998. Solo creo que es muy valioso rescatar que la TGS ha sido decisiva a la hora de enfocar las interrelaciones como fundamento para una visión integral de la realidad.

^{vi} Detalles de cómo encarar este tipo de formulaciones pueden encontrarse en la obra de CASELLES MONCHO, “ Modelización y simulación de sistemas complejos”, Universidad de Valencia, 2008.

^{vii} El ejemplo fue extractado del artículo denominado “Control por simulación de la calidad del suministro de agua en viviendas”, NUDELMAN Mario y CASELLES MONCHO, Antonio, Revista Internacional de Sistemas, Volumen 14, 2004-2006 – ISSN:0214 –6533. En dicho Artículo podrá obtenerse información completa sobre este Modelo de Simulación por ordenador.

^{viii} El Grupo de Sistemas Generales, liderado por el Prof. Dr. Ing. Antonio Caselles Moncho desarrolló el Programa SIGEM ©, cuyo objetivo es generar Modelos de Simulación. Dicho generador básicamente incorpora cada variable, distingue el tipo de variable que se trata e incorpora cada interrelación. Como producto Genera un Software que es lo que denominamos “Modelo de Simulación”.

^{ix} Dado que el listado de todas las variables sería muy extenso, con lo cual excedería los objetivos para los cuales se decidió incorporarlos a esta nota, dicha tabla fue abreviada.

^x Extractadas de la obra de LÓPEZ DÍAZ –DELGADO, Elena y MARTÍNEZ VICENTE, Silvio “Iniciación a la simulación dinámica”, Barcelona, 2000

^{xi} Simulador presentado por NUDELMAN, Mario y CASELLES MONCHO, Antonio; simultáneamente en el SEREA “Seminario Hispano-Brasileño de Planificación, proyecto y operación de redes de abastecimiento de agua”, Valencia, 2004 y en la RECS-II “2º Reunión española de Ciencias de Sistemas”, Valencia 2004.

^{xii} El planteo demográfico y de distribución de la población fueron contrastados con los desarrollos de Micó Ruíz y Caselles Moncho (*Micó Ruíz, 2000*)

^{xiii} REGINT © es un software diseñado por Caselles Moncho del Grupo Teoría General de Sistemas de la Universidad de Valencia, que facilita el estudio de dependencias entre variables. Ver Caselles Moncho, Antonio (1998) y <http://www.uv.es/caselles>

^{xiv} Ídem 7