

Cómo mejorar las decisiones estratégicas en sistemas complejos cuando sólo se dispone de información cualitativa.

Carlos Legna Verna, Doctor en Economía, Universidad de La Laguna, e-mail: clegna@ull.es.

Serafín Corral Quintana, Doctor en Economía, Universidad de La Laguna, e-mail: scorral@ull.es

Resumen— Este trabajo continúa una línea de investigación sobre la mejora de la toma de decisiones en sistemas complejos en situaciones en las que se dispone solamente de información cualitativa. Se presenta una metodología que combina la dinámica de sistemas con la elaboración de modelos cualitativos y escenarios y los métodos multicriterios. Estos últimos no son desarrollados en este documento, por la limitación de espacio. Los autores han aplicado la metodología que aquí se expone en varios casos concretos que requerían la elaboración de estrategias, particularmente para el sector público. En esta ponencia se la explica utilizando los resultados de un proyecto para la reducción del proceso de desertificación en las Islas Canarias, encargado por el gobierno de esta Región.

Palabras Clave—Estrategias, sistemas complejos, información cualitativa.

1. INTRODUCCIÓN

En este documento los autores presentan nuevos resultados de sus investigaciones sobre la toma de decisiones estratégicas cuando se dispone solamente de información cualitativa (sus principales trabajos sobre el tema se encuentran en [1][2][3][4][5][6][7][8][9][10][11]). Con la intención de mejorar las decisiones estratégicas han elaborado una metodología que integra diversas instrumentos, particularmente modelos cualitativos (MC) y de dinámica de sistemas (MDS), elaboración de escenarios y aplicación de métodos multi-criterio para evaluar las decisiones (estos últimos no son desarrollados en este documento debido a la limitación de espacio). La metodología ha sido aplicada para definir estrategias en diversos casos, lo que ha permitido realizar ajustes y modificaciones de la misma. El último de estos casos, hasta el presente, es la elaboración de acciones para reducir el proceso de desertificación que afecta a las Islas Canarias. El gobierno de la Comunidad Autónoma de Canarias financia un Proyecto de Investigación (designado "Proyecto" de aquí en adelante) que tiene por

finalidad estudiar el proceso de desertificación que afecta a la Región y proponer una estrategia y políticas para controlarlo. El equipo del Proyecto (designado de aquí en adelante "Equipo") está constituido por profesores de las facultades de Biología, de Química y de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de La Laguna, además de los autores de este documento. La metodología será expuesta utilizando los datos obtenidos durante el desarrollo del Proyecto, que aún no ha terminado. Una reflexión previa sobre la evolución de los sistemas de apoyo a las decisiones se impone.

Durante los últimos años, los instrumentos para la mejora de la toma de decisiones -entre los cuales se incluyen a los Sistemas de Soporte o apoyo a la toma de Decisiones (SSD)- no sólo han sido mejorados sino que también se ha afianzado su utilización, debido a la mejora de esas técnicas y a una mayor apertura y aceptación de su uso. Se ha estado asistiendo a un cambio de lugar de esos instrumentos dentro de los procesos de toma de decisiones, que es favorecido cuando emergen estilos de gobierno más inclusivos y fiables que conllevan el hecho de que no hay un sólo decisor y que se realizan debates en relación con las decisiones sobre políticas. Esta habiendo un progresivo reconocimiento de la importancia en la toma de decisiones de integrar procesos de consulta, diálogo y deliberación con los actores sociales.

Los instrumentos para facilitar y mejorar estos procesos han cambiado no solamente en cuanto a las técnicas utilizadas y su diseño sino también en cuanto a su marco conceptual. La revisión de los avances recientes de los SSD en relación con los problemas del medio ambiente incluye la integración de métodos propios de la investigación social y el análisis institucional [10]. La toma de decisiones relacionadas con los problemas medioambientales es un buen ejemplo de los

problemas que enfrentan los decisores cuando desarrollan sus actividades en sistemas complejos. Estos problemas involucran múltiples dimensiones que no pueden ser amalgamadas en una escala simple de medida, porque ellas pertenecen a diferentes aspectos y actores de los procesos. Los actores hablan diferentes lenguajes y expresan incertidumbre de diferentes maneras, por lo que los instrumentos para el tratamiento de la información deben tomar en cuenta esta diversidad. En el pasado, muchos sistemas de decisión implantados para responder a requerimientos institucionales se orientaron hacia la generación de conocimiento para legitimar las decisiones. Sin embargo, los nuevos estilos de gobernanza requieren interfaces para que los actores a los que concierne un problema se involucren más en la búsqueda de soluciones [12]. Hay una oportunidad para desarrollar instrumentos de SSD como plataformas para integrar diferentes flujos de conocimiento y de percepciones. Estos instrumentos no son vistos como un medio para legitimar las decisiones sino como estimulantes para iniciar debates y para informar en los procesos de toma de decisiones. Esto significa además que no se supone que hay una decisión óptima, sino varias, de acuerdo con las diferentes percepciones y valores. Esencialmente, los Instrumentos para Informar los Diálogos, Debates y Deliberaciones (TIDDD) utilizan y despliegan las nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC), particularmente Internet, multi-media et interfaces virtuales 3D) para organizar la información que nutre un proceso de diálogo en relación con un problema de gobernanza. Los TIDDD son diseñados para dar soporte a los procesos participativos teniendo en cuenta el contexto y la audiencia en los que serán utilizados [13][14]. Ellos son una contribución a la implementación de la ciencia y de las iniciativas de gobernanza [8][11].

El papel de los instrumentos de información no es solamente la provisión del conocimiento disponible para informar un debate sino también ser una plataforma común mediante la cual el debate es organizado; y, además, un medio para integrar otras fuentes de conocimiento que surgen o emergen durante el proceso. En este contexto, la participación de los actores es vista como un paso hacia la cualidad del proceso de toma de decisiones y se corresponde con los principios de "peer review" [15], i.e. haciendo que se involucren los actores para lograr una mayor calidad del proceso de toma de decisiones e identificar los diferentes cursos de acción [16].

En el contexto de esas ideas se ha elaborado la metodología que se presenta en este artículo. Sus pilares son: la construcción de modelos cualitativos, su traslación a la dinámica de sistemas, la elaboración de escenarios y la aplicación de métodos multi-criterio para priorizar políticas. Salvo el último, se exponen a continuación esos pilares y su utilización para la selección de estrategias.

2. EL MODELO CUALITATIVO.

2.1. Variables y funciones del modelo.

Como se ha comentado, los sistemas sociales son muy complejos y para comprenderlos con la intención de preparar decisiones es necesario trabajar con variables y funciones que no se pueden cuantificar. Se pueden elaborar modelos econométricos de aspectos parciales de esos sistemas, que son útiles. Pero cuando se asciende hacia una visión más holística no se dispone de información para elaborar funciones como las que utilizan estos modelos.

Los modelos cualitativos "...establecen relaciones entre las variables, que se expresan en forma de funciones, tales como la siguiente. (...)

$$y = f(u; 3x; -2z_1; 2z_2; 2z_3).$$

Esto significa que un cambio en la variable "u", por ejemplo la cultura de la población agrícola, producirá un efecto sobre la variable "y", por ejemplo las innovaciones en el sector. Se define como "cualitativo" porque: a) incluye variables que no se pueden cuantificar; y, b) en los casos en que algunas puedan cuantificarse, sólo se establece la "intensidad" de la relación entre las variables, sin prestar atención a los valores coyunturales.

"Los impactos de la variable independiente (por ejemplo "x" en la relación anterior) sobre la dependiente ("y") pueden valorarse según su intensidad. Por ejemplo (...) 1 a 3: 1 es el menor y 3, por el contrario, es el más fuerte" [6]. En el caso del modelo que aquí se presenta no se hizo esta distinción.

"Los modelos se construyen para responder a preguntas, a inquietudes. Cada modelo constituye un instrumento ad hoc para proporcionarnos luz sobre aspectos del fenómeno que nos interesa. Ninguno constituye una "llave maestra" del conocimiento que nos abra todas las puertas" [6]. El modelo que se expone en este artículo fue construido para responder a las siguientes preguntas: ¿cuales son las principales fuerzas y bucles de retroalimentación que lideran el proceso de desertificación en las Islas Canarias? y ¿cuáles son las principales políticas que pueden ser aplicadas para reducir ese proceso?

Se seleccionaron las siguientes variables componentes del modelo (entre paréntesis se encuentran las siglas de las variables, luego se explicará cómo se procedió)¹:

- Degradación de los acuíferos (Degradation of Aquifers, Aquifers).
- Degradación de la biomasa y de la diversidad (Degradation of Biomass and Biodiversity, Biomass)
- Degradación de la calidad del agua de riego (Degradation of Quality of Irrigation Water, IrrigWater)
- Incremento de la construcción y de la red de transporte (Increase of construction and road network, Infrastruc)
- Extensión del desierto (Increase of desert, Desert)
- Aumento de la extensión de tierra asignada a prácticas rurales que degradan el medio ambiente (Increase of Land assigned to RPDE, RPDELand), donde RPDE=Prácticas Rurales que Degradan el Medio Ambiente².
- Aumento de la extensión de tierra asignada a prácticas rurales que protegen el medio ambiente (Increase of Land assigned to RPPE, RPPELand)
- Aumento de la población (Increase of Population, Population), donde RPPE=Prácticas Rurales que Protegen el Medio Ambiente.
- Aumento de la erosividad del suelo debida a la lluvia (Increase of Rainfall Erosivity, Erosivity)
- Aumento del turismo (Increase of Tourism, Tourism)
- Aumento de las descargas de agua utilizada (Increase of Waste discharges, Waste)
- Aumento de la erosibilidad del suelo debida a la lluvia (Increase of Wind erosivity, Wind)
- Aumento de la erodibilidad del suelo (Increase of Soil erodibility, SoilErod).

2.2. Análisis de motricidad y de dependencia.

Para detectar el rol que desempeñan las variables en la dinámica del sistema se aplicó el método MICMAC (sobre este método ver [6] capítulo 1.1), que requiere que las funciones sean presentadas en forma matricial (tabla 1).

En esta matriz la columna de cada variable expresa su función. Por ejemplo, si se observa la columna 5 (Desert) se comprueba que ella tiene

números uno en las casillas correspondientes a las variables 1, 2, 9, 12 y 13. Esto significa que $V5=f(V1;V2;V9;V12;V13)$ donde V_i =variable i . Debe observarse que se trata de efectos directos. Obviamente hay otras variables que afectan al aumento del desierto, pero lo hacen de manera indirecta. Estos impactos no aparecen reflejados en esta matriz, pero luego se pondrán a la luz mediante el método MICMAC.

Tabla 1. Matriz M1

	1 : Aquifers	2 : Biomass	3 : IrrigWater	4 : Infrastruc	5 : Desert	6 : RPDELand	7 : RPPELand	8 : Population	9 : Erosivity	10 : Tourism	11 : Waste	12 : Wind	13 : SoilErod
1 : Aquifers	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2 : Biomass	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3 : IrrigWater	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 : Infrastruc	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5 : Desert	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6 : RPDELand	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
7 : RPPELand	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
8 : Population	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9 : Erosivity	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10 : Tourism	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11 : Waste	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12 : Wind	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13 : SoilErod	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

En la matriz M1 la suma de los valores de la línea de cada variable indica su "motricidad" en el sistema, es decir la magnitud de los cambios que ella genera. Si su valor es cero, significa que sus variaciones no afectan a las otras. A su vez, la suma de los valores de su columna indica su "dependencia" de los cambios en las otras. Si es cero, es independiente. Pero en los sistemas complejos son más importantes los efectos indirectos: $A \rightarrow B \rightarrow C$. A afecta a C de manera indirecta y sin embargo ese efecto no aparece en la matriz M1. Puede demostrarse que la elevación de la matriz M1 a diversas potencias revela esos efectos (ver [6] capítulo 1.1). Si la matriz es elevada al cuadrado revela los efectos indirectos mediante una variable intermediaria, como en el ejemplo precedente. Si es elevada al cubo, habrá dos variables intermediarias y así sucesivamente. En el caso del modelo sobre desertificación, M1 fue elevada a la cuarta potencia, matriz M4 (Tabla 2).

Puede observarse que en la matriz M4 no hay solamente unos; hay valores más altos. Un 4, por ejemplo, en la celda $X_{6,11}$ significa que la variable 6 afecta a la 11 a través de cuatro "senderos". Por ejemplo los senderos pueden ser $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$; $A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow D$, etc. Obviamente, a medida que el valor de la casilla es más alto más alto será el impacto de un cambio de A sobre D. La correspondencia entre el número de senderos y el valor de la casilla se rompe cuando en la matriz

¹ En la lista de las variables figura en primer lugar el nombre en castellano, seguido, entre paréntesis, del nombre en inglés y de la sigla utilizada en los modelos presentados en este artículo. El MC y el MDS fueron elaborados con programas que están en inglés (el segundo de ellos con VENSIM). Por esta razón las variables se presentan en este idioma pero es facilitada la comprensión del texto porque se agrega su traducción al castellano.

² Al final del texto hay un glosario.

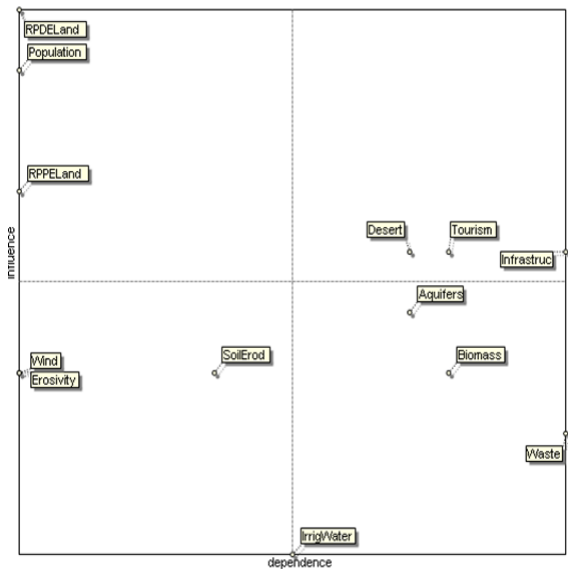
M1 se trabaja con valores distintos de uno, como hemos hecho en otros casos. Si es así, un valor alto de la casilla en el contexto de los otros valores de M4, revela igualmente que el impacto es muy fuerte (ver [6] capítulo 1.1).

Tabla 2. M4

	1 : Aquifers	2 : Biomass	3 : IrrigWater	4 : Infrastruc	5 : Desert	6 : RPDELand	7 : RPPELand	8 : Population	9 : Erosivity	10 : Tourism	11 : Waste	12 : Wind	13 : SoilErod
1 : Aquifers	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2 : Biomass	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3 : IrrigWater	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4 : Infrastruc	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	3	0	0
5 : Desert	0	1	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
6 : RPDELand	0	1	0	4	1	0	0	0	0	1	4	0	0
7 : RPPELand	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0
8 : Population	0	2	0	1	2	0	0	0	0	4	1	0	0
9 : Erosivity	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10 : Tourism	0	2	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0
11 : Waste	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
12 : Wind	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13 : SoilErod	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Para revelar los roles de las variables es conveniente construir un Gráfico de motricidad y dependencia (figura 1), que es un sistema de coordenadas cartesianas cuyo eje vertical representa la suma de la línea de cada variable y cuyo eje horizontal la suma del valor de su columna en la matriz M4.

Figura 1. Grafico de motricidad y dependencia de M4



En la figura 1 se pueden distinguir los papeles que desempeñan las variables en el sistema que genera la desertificación en Canarias. En el cuadrante superior izquierdo se encuentran las variables denominadas "motrices", cuyos cambios ejercen fuertes efectos en la desertificación (han sido tratadas como variables independientes en el modelo, por eso su dependencia es cero). Luego

se distinguen las variables que se encuentran en el cuadrante inferior derecho: son las "dependientes". Ellas son el resultado de la estructura del sistema: el estado de los acuíferos, de la biomasa, de las descargas de agua y de la calidad del agua de riego. Las variables que están en el cuadrante inferior izquierdo son poco relevantes por sus bajas motricidad y dependencia. En el cuadrante superior derecho se encuentran variables claves, porque producen fuertes efectos motrices y tienen también una dependencia elevada: son designadas "de enlace", porque enlazan, anudan, al sistema. La existencia de estas variables significa que los cambios que se inician en el sistema, particularmente en las motrices, se trasladan a ellas y entre ellas y otras del sistema se producen bucles de retroalimentación que multiplican los cambios iniciales. Obsérvese, por ejemplo, que en M4 "Desert" se retroalimenta a sí misma. En otras palabras, un cambio inicial genera retroalimentaciones positivas, para bien o para mal, alejando al sistema de su situación inicial. De ahí la importancia, en el caso de Canarias, de revertir la dinámica de la desertificación. Es evidente que la detección de las variables motrices, de las de enlace y de los bucles de retroalimentación es crucial para el diseño de políticas. Ellas deberán diseñar acciones prioritarias para estos dos conjuntos de variables y los bucles; y si no se puede actuar sobre algunas variables o bucles habrá que hacer escenarios sobre su evolución, para prever, con una actitud prospectiva, cuales serán los efectos de esos escenarios. El modelo cualitativo revela roles de las variables, como se ha comentado. Pero hay que observar el fenómeno desde múltiples perspectivas. Como se podrá apreciar, la dinámica de sistemas aporta nuevos conocimientos para el diseño de la estrategia, por lo que las relaciones del modelo cualitativo fueron reinterpretadas en términos de esta disciplina.

3. EL MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS

3.1. Principales características

El modelo de dinámica de sistemas que interpreta las principales fuerzas que producen el proceso de desertificación en las Islas Canarias es denominado en este artículo "Modelo Tendencial" o "Tendency Model" (figura 2 al final del artículo). Fue construido utilizando VENSIM y tiene las mismas variables que el modelo cualitativo. Además, en cada función se introducen constantes (o parámetros), que indican el efecto de las variables independientes sobre la dependiente (la funciones se encuentran en el

anexo al final de este artículo). Estas constantes son denominadas "Effect". Por ejemplo en la función **Degradation of Aquifers = Effect of Construct over Aquifers*Increase of construction and road network + Effect of Population over Aquifers*Increase of Population + Effect of Waste Discharges over Aquifers*Increase of Waste discharges**, "Effect of Construct over Aquifers" indica la magnitud del efecto de la construcción privada y de la de carreteras sobre los acuíferos (en la sección 4 se explica como se seleccionaron las variables y los parámetros).

En el modelo de dinámica de sistemas la extensión del desierto es un nivel, "Desert". Cuatro procesos, que de manera creciente se han consolidado en la Región, son los principales responsables del aumento del desierto: a) el crecimiento de la erodibilidad del suelo; b) el aumento de su erosividad ante a la lluvia y el viento; c) la degradación de los acuíferos; y d) la reducción de la biomasa y de la diversidad (en la figura 2, son las variables con letras en azul localizadas debajo de Desert). El impacto de estas variables sobre el desierto es expresado por los parámetros, ya comentados.

Esos procesos son la parte visible del *iceberg*, porque son el resultado del subsistema que está debajo de ellos en la figura 2. En este subsistema hay dos conjuntos de variables que generan el problema: a) el primero incluye las que se han tratado como exógenas (en la figura 2, se encuentran en la parte de abajo, su texto está en rojo y el fondo de los niveles en azul); y b) el segundo conjunto, que incluye a las variables que son afectadas por el primero las que, a su vez, producen efectos sobre la erodibilidad del suelo, su erosividad debida a la lluvia y el viento y el estado de los acuíferos, de la biomasa y la biodiversidad (en la figura 2 se encuentran arriba de las del primer grupo y sus letras en negro).

Las variables exógenas del modelo son la cantidad de tierra asignada a prácticas rurales que protegen el medio ambiente (Quantity of Land assigned to Rural Practices that Protect the Environment, RPPE), la cantidad de tierra asignada a prácticas rurales que degradan el medio ambiente (Quantity of Land assigned to Rural Practices that Degrade the Environment, RPDE), población (Population) y turismo (Tourism). Esta última variable es parcialmente independiente, como se explicará luego. Las exógenas tienen su propia dinámica, que es independiente, hasta el presente, de la desertificación. Las prácticas rurales que protegen el medio ambiente ayudan a controlar el avance de

la desertificación. Las otras variables independientes acentúan este proceso, como consecuencia de la ordenación actual y pasada. Su impacto sería claramente menor si estas condiciones se cambiaran. Las figuras 3, 4, 5 y 6 presentan el árbol de variables que son afectadas por las independientes.

Las prácticas rurales que degradan el medio ambiente han tenido, desafortunadamente, una alta tasa de crecimiento, debida a su rentabilidad privada, que es superior a la social. La Política Agrícola Europea favorece, en algunos productos, este tipo de tecnologías, que degradan la biomasa y la biodiversidad, elevan la erodibilidad y la erosividad del suelo y degradan aún más la calidad de las descargas de agua (figura 3). Por el contrario, es frecuente que las prácticas rurales que protegen el medio ambiente, que producen efectos contrarios a las mencionadas precedentemente (figura 5), tengan una baja rentabilidad privada (y aún negativa en algunos casos) a la vez que su rentabilidad social es mayor.

El aumento de la población produce una degradación de los acuíferos y un aumento de las descargas de agua y de la construcción urbana y de redes de transporte (figura 4). A su turno, esta última afecta también a los acuíferos, la erodibilidad del suelo, la biodiversidad y la biomasa. Las descargas de agua producen estos mismos efectos sobre la erodibilidad, la biomasa y la biodiversidad y, además, degradan la calidad del agua de riego. Estos efectos son fuertes, debido a las características de la organización del territorio adoptado por las islas, como ya se comentó. Mediante la intermediación de otras variables ellas aceleran el proceso de desertificación.

Figura 3. Variables afectadas por Quantity of Land assigned to RPDE

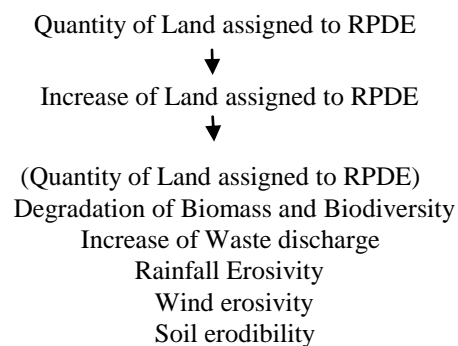


Figura 4. Variables afectadas por Population

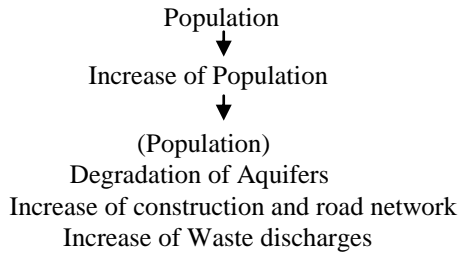


Figura 5. Variables afectadas por Quantity of Land assigned RPPE

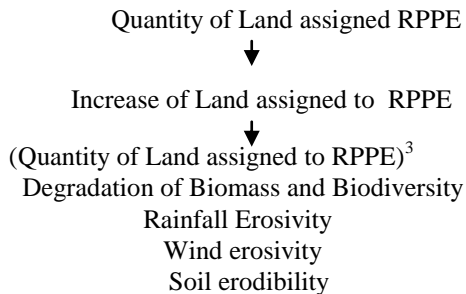
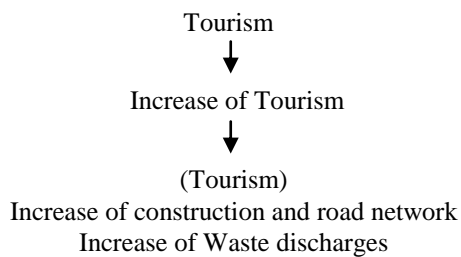


Figura 6. Variables afectadas por Tourism



La mayor parte del turismo de Canarias es de "sol y playa". Ha producido y produce un fuerte impacto sobre el aumento de las descargas de agua, de la construcción y de las infraestructuras de transporte (figura 6), cuyos efectos ya han sido comentados. El aumento del turismo en la formulación general del modelo es debido a dos componentes: a) una tasa de crecimiento que es exógena, porque no es afectada por la desertificación; y b) un crecimiento que es condicionado por este proceso ("Rate of increase of Tourism due to Desert"), que es tratado como una "look up function". En otras palabras, en la formulación del modelo, el turismo que llega a Canarias es determinado por dos componentes: una tasa de crecimiento que no depende de la desertificación y otra tasa que sí depende. En el caso del Modelo tendencial esta última es igual a cero, porque en las condiciones actuales el turismo

³ Debe notarse que el aumento de la agricultura que protege el medio ambiente produce una reducción de las cuatro variables que figuran a continuación

no es afectado de manera significativa por el avance del desierto. Este modelo trata de revelar como se comportará el sistema si persisten las condiciones actuales. Se cambia la función del turismo en las simulaciones que suponen una organización del territorio y un turismo más interesados en la protección de la calidad del medio ambiente. En este modelo, denominado "Foster Cities & Protected Rural Spaces" (FC&PRS), la tasa de crecimiento del turismo es afectada por el nivel del desierto, mediante la "look up function". A medida que crece el desierto baja este tipo de turismo, porque se propicia un turismo sensible a la calidad del medio ambiente.

3.2. Simulaciones, bucles y selección de políticas públicas para conducir al sistema hacia el escenario deseado.

Simulaciones.

Se realizaron dos simulaciones. Una con los valores del Modelo de tendencia (TendS, cuyas funciones están en el anexo), la que supone que el gobierno no implementará políticas para cambiar el proceso de desertificación y que los diversos actores sociales continuarán comportándose como lo han hecho hasta el presente. La segunda simulación, denominada, como ya se comentó, "Foster Cities and Protective Rural Spaces Simulation" (FC&PRS) supone, por el contrario, que las autoridades deciden organizar los espacios rurales y urbanos de manera tal que se mejore el medio ambiente y se contenga el proceso de desertificación. Esta organización del territorio tiene dos componentes básicos. Las áreas urbanas fueron denominadas "Foster Cities" (FC) porque se tenía en mente una organización del territorio con ciudades sostenibles, un concepto desarrollado por Foster y un grupo de arquitectos, que enfatiza la construcción de edificios eficientes en el uso de la energía y sensibles a la cultura y medio ambiente del entorno. El segundo componente son las áreas rurales, denominadas Protected Rural Spaces (PRS). Se supone, en esta simulación, que los espacios rurales serán organizados haciendo una diferenciación en dos categorías. Una incluye las áreas en las que no hay actividades económicas, con excepción de algunas producciones agrícolas que utilizan técnicas que no degradan el territorio; estas áreas son protegidas y hay una baja densidad de población. La segunda incluye a las áreas donde son permitidas las actividades agrícolas, algunas agroindustrias y los servicios, pero utilizan técnicas que preservan el medio ambiente. En estas áreas se promovería un nuevo tipo de agricultura, capaz no solamente de frenar la

desertificación sino también de ayudar a la recuperación de los suelos. Todo esto significa un nuevo escenario para las Islas Canarias, que integra Foster Cities y los Protected Rural Space (FC&PRS). Los resultados de estas simulaciones pueden observarse en las figuras 7 y 8.

Figura 7. Evolucion en el modelo de tendencia

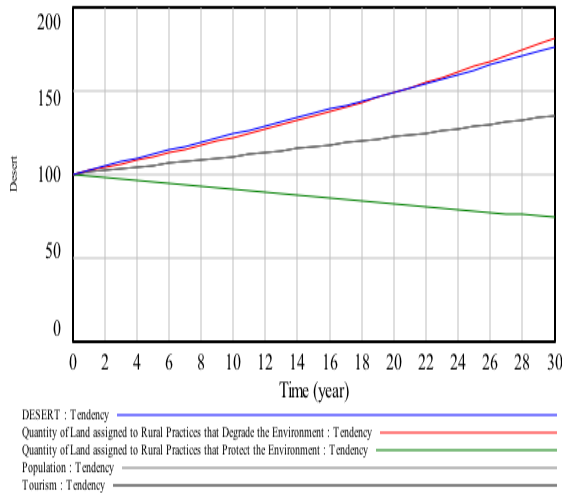
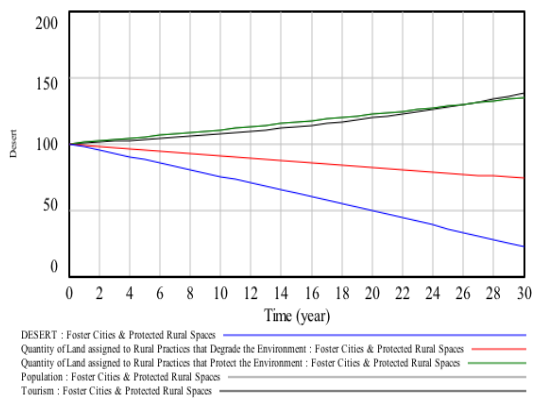


Figura 8. Evolucion en el modelo "Foster Cities and Rural Spaces that Protect the Environment"



El escenario de tendencia (figura 7) muestra que si el comportamiento de la sociedad canaria continúa como ha sido hasta el presente, el proceso de desertificación continuará de manera inexorable. Dadas las restricciones de información que se han comentado, los resultados deben interpretarse como expresiones de una **tendencia**: no se puede afirmar con precisión cual será la tasa de crecimiento del desierto. Sólo se sabe, pero es importante ese conocimiento, que si persisten los comportamientos -privados y públicos- continuará creciendo el desierto.

Por el contrario, el segundo modelo pone en evidencia que esa tendencia puede ser revertida (figura 8), cambiando, claro está los comportamientos a los que se hizo referencia.

El análisis del comportamiento de otras variables permite apreciar mejor las diferencias entre los dos escenarios (figuras 9, 10, 11, and 12). El comportamiento de las variables presentadas en estas figuras confirma que aunque la población, el turismo y la construcción crezcan, la desertificación puede controlarse. Para llevar a la Región de la indeseada senda hacia la deseada el gobierno debe ejecutar políticas que cambien los valores de los parámetros de las ecuaciones, en las que es ello posible. Después de varias discusiones entre los miembros del Equipo y con actores externos se llegó a la conclusión de que es posible implementar políticas en relación con los siguientes parámetros (fondo en amarillo en la figura 2). Fueron clasificados en tres grupos:

- Effect of Population over Construction, Effect of Tourism over Construction y Effect of Construction over Aquifers;
- Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over Rainfall Erosivity;
- Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Biomass, Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Rainfall Erosivity, Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Soil Erodibility, Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Wind Erosivity; Effect of Waste Discharges over Aquifers.

Las islas Canarias han tenido altas tasas de crecimiento de la población y del turismo durante las pasadas décadas, las que han producido un elevado crecimiento de la construcción y de la red de carreteras. La forma como se han desarrollado ha producido efectos perniciosos sobre el medio. El escenario FC&PRS aminora estos impactos negativos mediante políticas que reducen la actual dispersión de la población y los efectos indeseados de la construcción (privada y de infraestructuras) sobre los acuíferos. Para lograr estas transformaciones las políticas deben cambiar los parámetros respectivos.

El segundo grupo se refiere a las prácticas rurales que degradan el medio (Rural Practices that degrade the Environment). El FC&PRS prevé implementar políticas que minimicen su efecto sobre la erosividad de los suelos a la vez que se controla su crecimiento.

El tercer grupo incluye parámetros que se vinculan con los efectos positivos de las prácticas rurales que protegen el medio (Rural Practices that

Figura 10

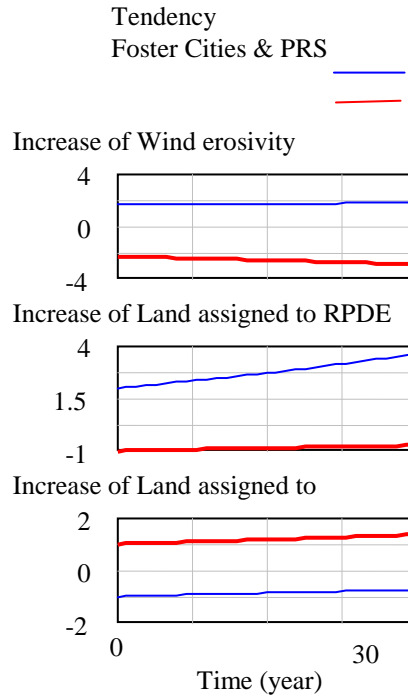
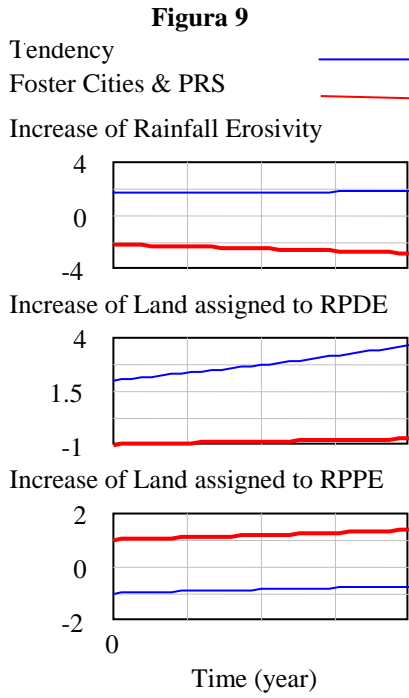
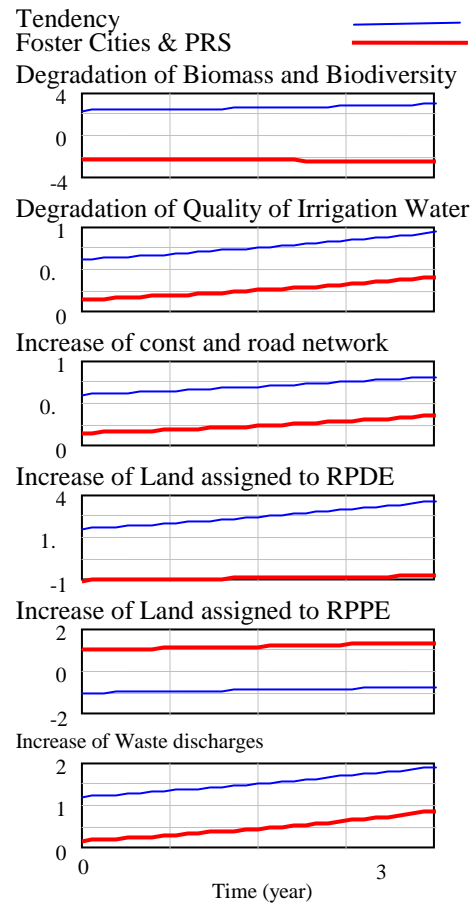
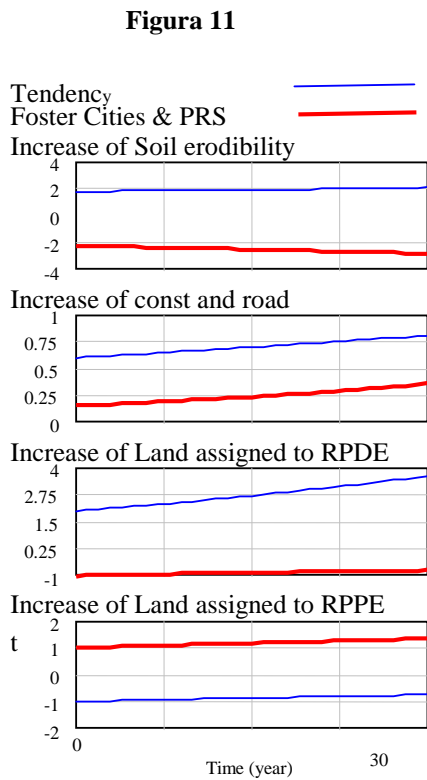


Figura 12



Protect the Environment) y su tasa de crecimiento. El FC&PRS se orienta hacia la paulatina sustitución de las prácticas que destruyen el medio por las que lo protegen y además a estimular sus efectos positivos sobre la desertificación. En el modelo FC&PRS se realizarán también acciones para reducir el efecto de las descargas de agua sobre la calidad de los acuíferos. Cabe enfatizar una vez más que estos resultados deben interpretarse cuidadosamente, pues ellos no proporcionar cálculos y proyecciones exactas; sino sólo tendencias. Permiten comprender la estructura del fenómeno que produce la desertificación y su evolución si no se hace nada para torcer el sendero. Y también permiten comprender en cual dirección se cambia el sendero de evolución del sistema si se implementan ciertas políticas y cambian los comportamientos sociales. Estos resultados permiten responder también a preguntas del tipo ¿que pasa si...? Por ejemplo ¿qué pasa si se reduce el efecto del aumento de la población (o del turismo) sobre el crecimiento de la construcción?

Análisis de los bucles de retroalimentación.

El estudio de los bucles de retroalimentación permite obtener nuevas conclusiones. El modelo produce ocho (figuras 13 a 20), además de los generados por las variables independientes (Population, Quantity of Land assigned to Rural Practices that degrade the Environment and Quantity of Land assigned to Rural Practices that protect the Environment. La polaridad de los ocho bucles es el signo (sgn) de la serie siguiente [17]:

$$\text{sgn} \left\{ \left[\frac{\delta(\delta x_1/\delta t)}{\delta x_n} \right] * \left[\frac{\delta(\delta x_2/\delta t)}{\delta x_1} \right] * \left[\frac{\delta(\delta x_3/\delta t)}{\delta x_2} \right] * \dots * \left[\frac{\delta(\delta x/\delta t)_n}{\delta x_{(n-1)}} \right] \right\}$$

Dado un incremento de una variable del bucle si el efecto resultante sobre la misma variable es mayor (menor) que el aumento inicial el bucle será positivo (negativo).

Los ocho bucles tienen un núcleo común que determina su polaridad (ver figuras 13 a 20). La secuencia de este núcleo es la siguiente: "Increase of Desert → Desert → Rate of Increase of Tourism due to Desert → Increase of Tourism". Esto significa, en términos del MDS, que el flujo hacia Desert es positivo, produce un incremento de este nivel, el que a su vez induce una reducción de la tasa de crecimiento del turismo (en el modelo "FC&PRS"). Obsérvese que en este modelo el incremento anual del turismo es el resultado de dos tasas: a) la que es exógena (la única que se tiene en cuenta en el modelo tendencial); y b) la que depende del nivel de desierto (Desert, que se

agrega en el modelo "FC&PRS"). Hasta ahora la tendencia ha sido un crecimiento del turismo, con fluctuaciones debidas a otras causas. Pero si cambia el perfil de los turistas hacia los que desean un mejor medio ambiente, llegará un momento en que su incremento será igual a cero o negativo si el desierto continúa extendiéndose. Esto plantea un problema político importante, porque el turismo es una actividad económica de gran importancia en las islas. El empleo y el ingreso de la población dependen en gran parte de él. Por tanto, mantener los flujos de turismo y reducir su impacto negativo sobre el medio ambiente y la desertificación es un problema estratégica clave. La preservación del medio ambiente es, en este contexto, económicamente rentable.

El análisis de las conexiones del núcleo común (designado a continuación Núcleo) con otras variables permite obtener conclusiones adicionales. Los bucles han sido agrupados en dos categorías.

1. Núcleo más Increase of Construction and Roads

- a. Núcleo → Increase of Construction and Roads → Increase of Soil Erodibility → Núcleo (Figura 13);
- b. Núcleo → Increase of Construction and Roads → Degradation of Biomass and Biodiversity → Núcleo (Figura 16);
- c. Núcleo → Increase of Construction and Roads → Degradation of Aquifers → Core (Figura 18);
- d. Núcleo → Increase of Construction and Roads → Degradation of Aquifers → Degradation of Quality of Irrigation Water → Degradation of Biomass and Biodiversity → Núcleo (Figura 19);

2. Núcleo más Increase of Waste Discharges

- a. Núcleo → Increase of Waste Discharges → Degradation of Biomass and Biodiversity → Núcleo (Figura 14);
- b. Núcleo → Increase of Waste Discharges → Degradation of Aquifers → Núcleo (Figura 15);
- c. Núcleo → Increase of Waste Discharges → Degradation of Quality of Irrigation Water → Degradation of Biomass and Biodiversity → Núcleo (Figura 17);
- d. Núcleo → Increase of Waste Discharges → Degradation of Aquifers → Degradation of Quality of Irrigation Water → Degradation of Biomass and Biodiversity → Núcleo (Figura 20).

Los dos grupos revelan la importancia de las políticas para cambiar el comportamiento del sector de la construcción y el diseño de las infraestructuras de transporte (Increase of Construction and Roads) y el manejo de las descargas de agua (Degradation of Aquifers).

Según el primer grupo de bucles, las políticas tienen que reducir el impacto del turismo sobre la construcción (privada y de infraestructuras) y sobre los acuíferos; y reducir también el efecto negativo de estas dos variables sobre la biomasa, la biodiversidad y la erodibilidad del suelo. Según segundo grupo de bucles, las políticas tienen que reducir la crecimiento de las descargas de agua y además ellas deben ser tratadas de manera que se elimine su efecto negativo sobre los acuíferos, el agua de irrigación, la biomada y la biodiversidad. Las políticas relativas a las variables independientes son evidentes. El aumento de la población produce los mismos efectos sobre la desertificación que el turismo. La agricultura que degrada el medio ambiente (Rate of increase of Quantity of Land assigned to Rural Practices that degrade the Environment) debe ser reducida drásticamente a la vez que se aumenta la agricultura que produce efectos contrarios, y favorables.

Este conjunto de políticas significa una nueva organización del territorio, que incluya al sistema urbano, a las áreas agrícolas y y a las protegidas.

4. COMO FUERON SELECCIONADAS LAS VARIABLES DE LOS DOS MODELOS Y SU VALIDACIÓN

4.1. La selección.

Nunca se habría enviado una nave a la luna, dice Forrester [18], sin testear antes con modelos que son prototipos y sin hacer simulaciones de las trayectorias anticipadas. Los dos modelos expuestos en este artículo son prototipos del sistema real, que fueron elaboradas con la intención de tener éxito -o al menos no cometer grandes errores- para "enviar una nave a la luna". En este caso, la luna son unas Islas Canarias que han controlado la desertificación y que han iniciado una mejora de la calidad del medio ambiente. Y las políticas son las direcciones de navegación que orientan a la nave (Canarias) hacia la luna.

El MDS fue contruido sobre la base del MC. El primer paso consistió en determinar el conjunto de variables que, directa o indirectamente, producen la desertificación. El segundo paso consistió en elaborar una matriz cuadrada para establecer las funciones del modelo (la matriz M1).

Para realizar esos dos pasos se utilizaron fundamentalmente dos clases de insumos: a) los resultados de investigaciones realizadas sobre la desertificación; y b) los modelos mentales de los miembros del Equipo y de otros actores que fueron consultados. Con estos insumos se realizaron sesiones de discusión entre los miembros del Equipo, se realizó la selección final de las variables y se construyó la matriz M1.

En relación con problemas complejos, es frecuente que se encuentren resultados expresados de la manera siguiente: "un cambio de A (aumento o decrecimiento) produce un cambio de B (aumento o decrecimiento)", pero no se cuantifica el efecto. Se sabe, por ejemplo, que en Canarias, el decrecimiento de algunas prácticas de la agricultura tradicional ha acentuado la erosión de los suelos, además de otros efectos. Si es así, se pondrá un valor distinto de cero en la casilla correspondiente de la matriz M1. Es importante recordar nuevamente que sólo se conoce la **dirección** de los cambios de las variables A y B y, en algunos casos, la estimación de la magnitud del impacto (1, 2 o 3, por ejemplo).

La segunda categoría de insumos proviene de los modelos mentales de los investigadores y de los actores de la sociedad; los agricultores de las zonas erosionadas, por ejemplo.

Los modelos mentales, que son representaciones de situaciones reales o imaginarias que los seres humanos tenemos en el cerebro [19][20], han sido utilizadas en dinámica de sistemas y en el pensamiento sistémico. Volviendo nuevamente a Forrester sostenemos que "Cada uno de nosotros usa constantemente modelos. Cada persona en su vida privada y en los negocios usa instintivamente modelos para la toma de decisiones. Las imágenes mentales que están en nuestra cabeza en relación con nuestro entorno son modelos. Nuestra cabeza no contiene familias, negocios, ciudades, gobiernos o países reales. Uno usa conceptos seleccionados y relaciones para representar sistemas reales" [18].

Estos modelos mentales son una fuente muy útil de información. Pero es importante ser consciente de que ellos son "...borrosos, incompletos y definidos de manera imprecisa. Más aún, en un único individuo, los modelos mentales cambian con el tiempo, aun durante el flujo de una simple conversación. La mente humana ensambla unas pocas relaciones para ajustar el contexto de una discusión. A medida que el debate cambia también lo hacen los modelos mentales. Aun cuando un simple tópico está siendo discutido, cada participante en una conversación emplea un

modelo mental diferente para interpretar el sujeto" [18].

Para construir el MC se utilizaron dos clases de modelos mentales: a) los que están en las mentes de los científicos y que se basan en sus conocimientos (fundamentalmente en este caso, los de los miembros del Equipo); y b) los que proceden de otros actores (agricultores, políticos, etc.). Las bases científicas de estos segundos modelos mentales fueron filtradas por el Equipo y con toda esta información fué construida la matriz M1. Debe notarse que el proceso es iterativo: la matriz fue reconstruida varias veces. Esta matriz sirvió para construir el MDS, agregándole los parámetros.

Como se comentó al inicio de este artículo, no se dispuso de información cuantitativa para estimar el valor de los parámetros. La construcción del modelo de dinámica de sistemas tiene por finalidad, dadas estas restricciones, conocer la estructura del sistema que genera el problema, la desertificación, y obtener conclusiones estratégicas. Por ello el valor que se adoptó para los parámetros tiene un margen de arbitrariedad importante, sujeto a una condición: que el valor resultante del crecimiento de la extensión de la desertificación estimado por las proyecciones del modelo tendencial reprodujese aproximadamente el crecimiento observado en los últimos años. Debe observarse que tampoco se dispone de datos precisos del crecimiento de la desertificación, sólo se cuenta con mapas en los que se pudo observar la mancha creciente de este fenómeno.

A la luz del comentario sobre los parámetros, puedo interpretarse el MDS como una caja negra, en la que las entradas son las variables independientes y la salida el nivel del Desierto. La caja negra produce un resultado aproximado al del sistema real. Las conclusiones sobre las políticas resultan de nuestra intromisión dentro de la caja negra, de nuestra manipulación de los parámetros que se puedan cambiar y de la observación de los resultados. Si con esta intromisión en la caja se logran mejores resultados, se puede sostener que las políticas son adecuadas. Se trata de una racionalidad limitada, al estilo de lo que afirma Herbert Simon.

El MDS logra un conocimiento adicional a la simple yuxtaposición de información y conocimientos dispersos. Los integra en un modelo que hace explícito el conocimiento implícito de los modelos mentales y los hace lógicamente coherentes: "En contraste con los modelos mentales, los modelos de simulación con dinámica de sistemas son explícitos en relación

con sus supuestos y como ellos se interrelacionan. Cualquier concepto que puede ser claramente descrito en palabras puede ser incorporado en un modelo de computación. La construcción de un modelo de computación fuerza la clarificación de las ideas. Son mostradas las hipótesis no claras y ocultas de manera que ellas pueden ser examinadas y debatidas" [18]

4.2. La validación del modelo.

La validez del SDM depende de su correspondencia con el sistema real y de su utilidad para elaborar políticas. La correspondencia que se busca es la que resulta de responder a la siguiente pregunta ¿cuales son los factores que producen la desertificación en las Islas Canarias? Karl Popper sostiene que las teorías nunca pueden ser definitivamente probadas y que ellas sólo pueden alcanzar un mayor o menor nivel de verdad, excepto en las ciencias formales [21][22]. Todas las teorías son provisionales y el criterio principal para evaluar una teoría o modelo es la falsación. En las ciencias sociales, en adición a los argumentos lógicos, para realizar la falsación es fundamental la evidencia empírica ¿Puede realizarse la falsación en el caso del modelo aquí presentado, dadas las limitaciones en relación con la información?

Para responder, retómense los modelos mentales: ellos son similares a los de los arquitectos o a los diagramas de los físicos en que su estructura es análoga a la estructura de la situación que ellos representan [23]. Para responder al grado de analogía entre el MDS y la realidad el Equipo realizó tests para probar si los modelos mentales y las investigaciones que sustentan las funciones eran falsos. Se aceptó cada función si no se pudo probar que la relación "Un cambio (positivo o negativo) de A produce un cambio de B (positivo o negativo)" era falsa. Igualmente, en relación con los parámetros.

A un nivel agregado del conjunto del modelo, se le exigió además que reprodujese el crecimiento del nivel "Desert", como ya se ha comentado.

5. REPENSAR ESTRATEGIAS MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE ESCENARIOS

5.1. Escenarios como una secuencia hipotética de eventos

Los escenarios son una secuencia hipotética de eventos construida con el fin de enfocar la atención en los procesos causales y los puntos de decisión.

Es importante considerar los escenarios como cursos de eventos y no solamente como imágenes del futuro, porque así se dirigirá la atención al despliegue de alternativas y a los puntos de

bifurcación en los cuales las acciones humanas pueden afectar significativamente el futuro.

La anatomía de un escenario (según [9][24][25]) comprende los siguientes elementos: a) Dimensiones Críticas (DC), b) Fuerzas Impulsoras (FI), c) Invariables Estratégicos (o Elementos Predeterminados, EP), d) Incertidumbres Críticas (IC); e) Argumento (Lógica de los escenarios); y f) Imagen del Futuro (IM).

Las Dimensiones Críticas definen, colectivamente, el espacio multidimensional donde se pueden construir los escenarios. No es necesario que representen o contengan suposiciones causales ya que son definidas en términos de relevancia; son los descriptores de los atributos más importantes de las imágenes del futuro. En sí no son seleccionadas por su importancia científica, sino en base a su valor político o valorativo y se usarán para evaluar la deseabilidad y factibilidad de los escenarios.

Se han definido las siguientes dimensiones críticas: a) Economía; b) Sociedad y Educación/Formación; c) Ciencia & Tecnología; d) Medio Ambiente y Recursos Naturales; y e) la Gobernabilidad a nivel local y regional.

Las Fuerzas Impulsoras (FI) representan los factores, tendencias, o procesos clave que influyen la situación o las decisiones, y que impulsan al sistema y co-determinan el despliegue de los escenarios futuros. Las FI pueden ordenarse en dos categorías principales: Fuerzas de contexto: eventos o procesos económicos, sociales, ambientales, etc. Acciones de actores sociales: los proyectos y acciones del gobierno, y de los otros actores políticos y sociales. En el caso de la Desertificación en Canarias son las siguientes:

- Economía: a) Sectores económicos competitivos, b) Inversión pública (inversión en I+D), c) Inversión privada y d) Mejora de la Economía.
- Sociedad, Educación y Cultura: a) Sociedad Civil integrada y b) Procesos de educación y formación ambiental.
- Ciencia y Tecnología: a) Infraestructuras y b) tecnologías respetuosas con el medio ambiente.
- Ambiente y Recursos Naturales: a) El acceso al agua, b) los procesos de contaminación (agua, atmósfera) y c) la producción agrícola sostenible.
- Gobernabilidad: a) Planificación Sectorial y Territorial, y b) Estabilidad Institucional.

Las Invariables Estratégicas (Elementos Predeterminados) se consideran tendencias evidentes e invariantes que están presentes en todos los escenarios. Si un evento o proceso se

produjera siempre, sin importar cual escenario se desarrolle, es un EP. En el caso que nos ocupa se puede clasificar como invariable estratégica el proceso demográfico.

Las Incertidumbres Críticas (IC) son aquellas Fuerzas Impulsoras cuyo curso no se puede anticipar, pero que se sabe que afectarán de manera fundamental el curso de eventos y que determinarán las principales diferencias entre los escenarios.

En la construcción de escenarios para la Desertificación en las Islas Canarias 2040 se han considerado como incertidumbres críticas más relevantes el proceso de recuperación económica global y el cambio climático.

Los escenarios se despliegan siguiendo una lógica interna que vincula los elementos en una trama o argumento coherente. El desafío es identificar una trama que (1) capture de la mejor manera la dinámica de la situación y (2) comunique la esencia del mensaje de forma más efectiva. Un mismo conjunto de fuerzas impulsoras puede evolucionar de distintas maneras, siguiendo tramas también distintas. En cada trama, los elementos serán finalmente combinados con una narrativa propia, que ilustra cómo el sistema evoluciona desde un momento temporal, generalmente la actualidad, a otro situado en el futuro.

4.2. Escenarios de la desertificación en Canarias

A lo largo del estudio se han desarrollado dos escenarios con el objetivo de explorar diferentes percepciones acerca del proceso de desertificación en las Islas Canarias en un horizonte temporal de 30 años.

En primer lugar, se presenta el escenario tendencial (denominado "Desert"), que pretende narrar una evolución "business as usual" de las Islas Canarias; y seguidamente otro que muestra una imagen positiva representada por el escenario denominado "Oasis". Ambos escenarios se han desarrollado en base al conocimiento obtenido del MC y de las simulaciones realizadas con el MDS. Así, el escenario "desert" refleja los resultados obtenidos en la simulación "Tendencial", mientras que el escenario "Oasis" se corresponde con la simulación FC&PRS (fig. 20 y 21).

Como se mencionó anteriormente, los escenarios apuntan a la estructuración de los diferentes tipos de conocimiento (científico y no científico), con relatos para facilitar los procesos de planificación y toma de decisiones. Permiten integrar la información de modelado y, junto con las medidas de política, proporcionan también una evolución en el tiempo del encadenamiento de los procesos.

Al expresarse como relatos [8] facilitan la explicación de la estructura de patrones complejos y de procesos decisores[8]. La evolución temporal de ambos escenarios es la que se muestra en las figuras 20 y 21. Ella agrega una perspectiva adicional para la toma de decisiones y para visualizar el avenir, que se complementa con las perspectivas que resultan de los modelos. La descripción coherente de los dos gráficos anteriores son los relatos de los escenarios, no desarrollados aquí por razones de espacio.

Figure 20. Representación de las interconexiones temporales del Escenario “Desert”

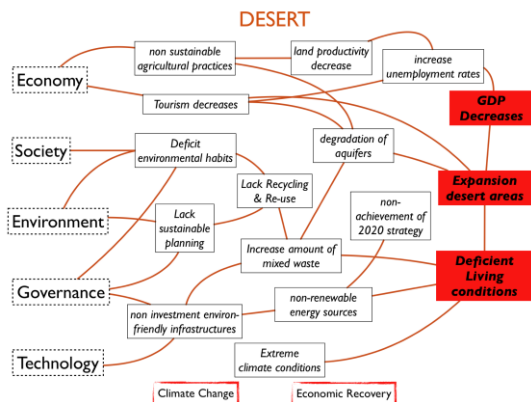
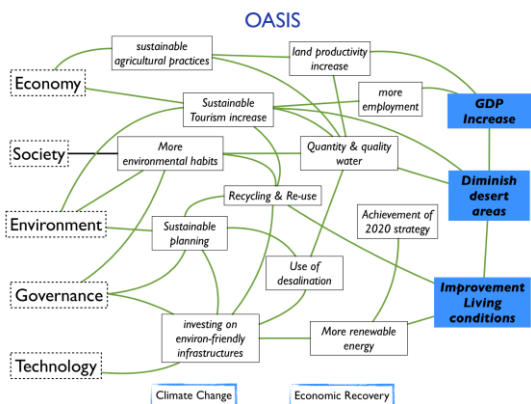


Figure 21. Representación de las interconexiones temporales del Escenario “Oasis”



Estas evoluciones representan las interconexiones entre las diferentes dimensiones, así como su evolución en el tiempo utilizando una representación no lineal, que es aquella que se considera más adecuada a la hora de representar la realidad de un sistema complejo. Debido a la limitación de espacio sólo se comenta a continuación una parte de una evolución del Escenario Desert: el crecimiento de las "Not sustainable agricultural practices" producirá una reducción de la productividad de la tierra y aumentará la tasa de paro; este mismo crecimiento

de las prácticas no sostenibles degradará los acuíferos lo que producirá finalmente un empeoramiento de las condiciones de vida. Las políticas deben orientarse hacia la eliminación de esas evoluciones y su reemplazo por otras, que se encuentran en el escenario Oasis.

ANEXO 1: ECUACIONES Y COMPARACIÓN DE LAS SIMULACIONES.

a) Ecuaciones del MDS

(01) Aux 4= 1

Units: Desert

(02) Degradation of Aquifers = Effect of Construct over Aquifers*Increase of construction and road network + Effect of Population over Aquifers*Increase of Population + Effect of Waste Discharges over Aquifers*Increase of Waste discharges

Units: Degradation of Aquifers/year

(03) Degradation of Biomass and Biodiversity = Degradation of Quality of Irrigation Water*Effect of Quality of Irrigation water over Biomass + Effect of Const over Biomass*Increase of construction and road network + Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over Biomass*Increase of Land assigned to Rural Practices that Degrade the Environment + Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Biomass*Increase of Land assigned to Rural Practices that Protect the Environment + Increase of Waste discharges*Effect of Waste Discharges over Biomass. Units: Degradation of Biomass and Biodiversity/year

(04) Degradation of Quality of Irrigation Water = Degradation of Aquifers*Effect of degradation of Aquifers over Irrigation Water + Effect of Waste Discharges over Irrigation Water*Increase of Waste discharges. Units: Degradation of Quality of Irrigation Water/year.

(05) DESERT= INTEG (INCREASE OF DESERT, 100)

Units: Desert [0,400]

(06) Effect of Const and roads over soil erodibility = 0.3

Units: Soil erodibility/Construction and road network

(07) Effect of Const over Biomass = 0.3

Units: Degradation of Biomass and Biodiversity/Construction and road network

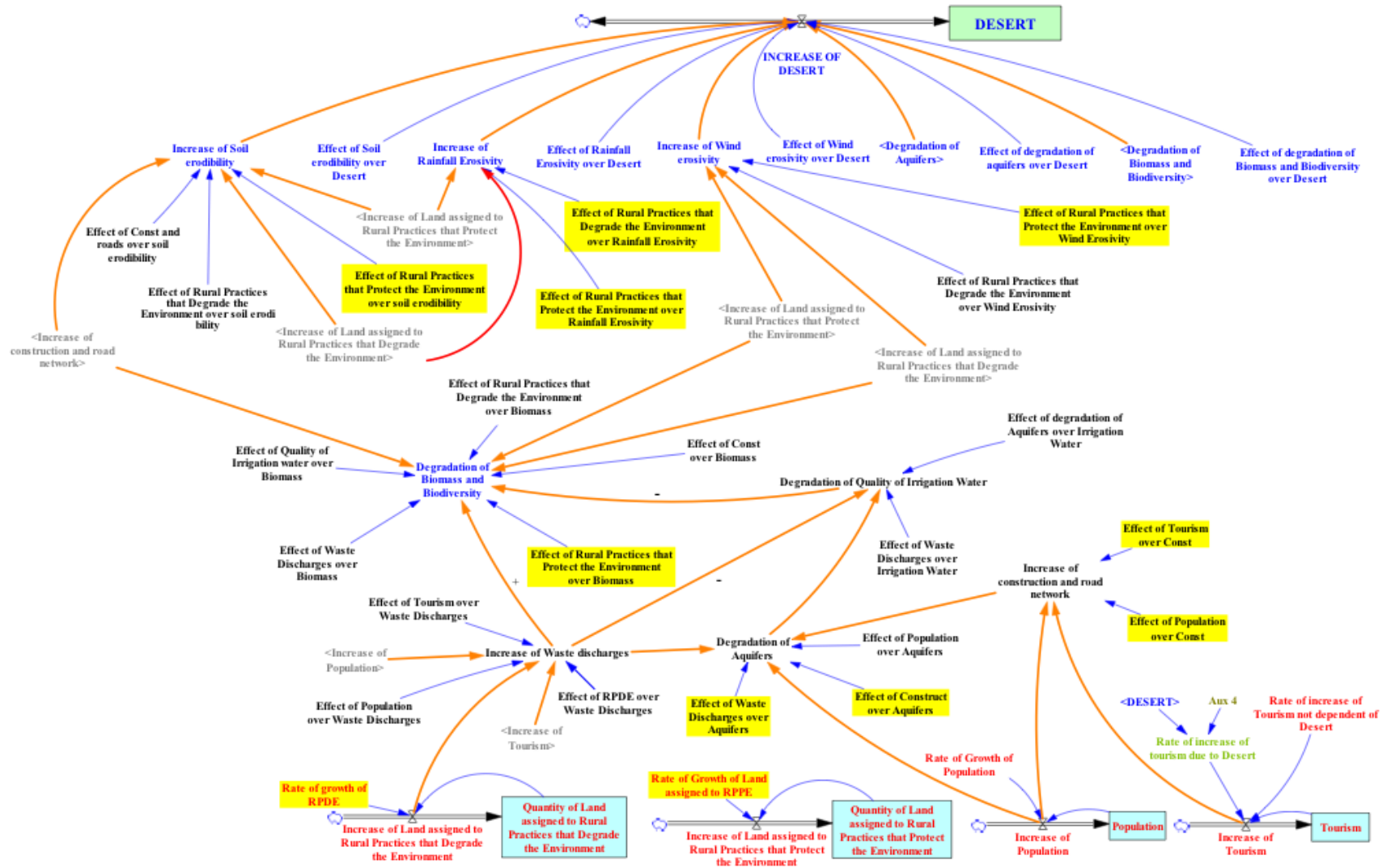
(08) Effect of Construct over Aquifers = 0.3

Units: Degradation of Aquifers/Construction and road network

(09) Effect of degradation of aquifers over Desert = 0.05

Units: Desert/Degradation of Aquifers

Figura 2



(10) Effect of degradation of Aquifers over Irrigation Water = 0.3

Units: Degradation of Quality of Irrigation Water/Degradation of Aquifers

(11) Effect of degradation of Biomass and Biodiversity over Desert = 0.7

Units: Desert/Degradation of Biomass and Biodiversity

(12) Effect of Population over Aquifers = 0.3

Units: Degradation of Aquifers/Population density

(13) Effect of Population over Const = 0.3

Units: Construction and road network/Population density

(14) Effect of Population over Waste Discharges = 0.3

Units: Waste discharges/Population density

(15) Effect of Quality of Irrigation water over Biomass = 0.3

Units: Degradation of Biomass and Biodiversity/Degradation of Quality of Irrigation Water.

(16) Effect of Rainfall Erosivity over Desert = 0.1

Units: Desert/Rainfall Erosivity

(17) Effect of RPDE over Waste Discharges = 0.3

Units: Waste discharges/Quantity of Land assigned to Destructive Agriculture

(18) Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over Biomass = 0.3

Units: Degradation of Biomass and Biodiversity/Quantity of Land assigned to Destructive Agriculture

(19) Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over Rainfall Erosivity = 0.3

Units: Rainfall Erosivity/Quantity of Land assigned to Destructive Agriculture

(20) Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over soil erodibility = 0.3

Units: Soil erodibility/Quantity of Land assigned to Destructive Agriculture

(21) Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over Wind Erosivity = 0.3

Units: Wind erosivity/Quantity of Land assigned to Destructive Agriculture

(22) Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Biomass = -1

Units: Degradation of Biomass and Biodiversity/Quantity of Land assigned to Traditional Farming.

(23) Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Rainfall Erosivity = -1

Units: Rainfall Erosivity/Quantity of Land assigned to Traditional Farming

(24) Effect of Rural Practices that Protect the Environment over soil erodibility = -1

Units: Soil erodibility/Quantity of Land assigned to Traditional Farming

(25) Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Wind Erosivity = -1

Units: Wind erosivity/Quantity of Land assigned to Traditional Farming

(26) Effect of Soil erodibility over Desert = 0.1

Units: Desert/Soil erodibility

(27) Effect of Tourism over Const = 0.3

Units: Construction and road network/Tourism

(28) Effect of Tourism over Waste Discharges = 0.3

Units: Waste discharges/Tourism

(29) Effect of Waste Discharges over Aquifers = 0.3

Units: Degradation of Aquifers/Waste discharges

(30) Effect of Waste Discharges over Biomass = 0.3

Units: Degradation of Biomass and Biodiversity/Waste discharges

(31) Effect of Waste Discharges over Irrigation Water = 0.3

Units: Degradation of Quality of Irrigation Water/Waste discharges

(32) Effect of Wind erosivity over Desert = 0.2

Units: Desert/Wind erosivity

(33) FINAL TIME = 30. The final time for the simulation

Units: year

(34) Increase of construction and road network = Effect of Population over Const*Increase of Population + Effect of Tourism over Const*Increase of Tourism

Units: Construction and road network/year

(35) INCREASE OF DESERT = + Degradation of Aquifers*Effect of degradation of aquifers over Desert + Degradation of Biomass and Biodiversity*Effect of degradation of Biomass and Biodiversity over Desert + Increase of Soil erodibility*Effect of Soil erodibility over Desert + Effect of Rainfall Erosivity over Desert *Increase of Rainfall Erosivity + Effect of Wind erosivity over Desert*Increase of Wind erosivity

Units: Desert/year

(36) Increase of Land assigned to Rural Practices that Degrade the Environment = Quantity of Land assigned to Rural Practices that Degrade the Environment*Rate of growth of RPDE

Units: Quantity of Land assigned to Destructive Agriculture/year

(37) Increase of Land assigned to Rural Practices that Protect the Environment = Quantity of Land assigned

to Rural Practices that Protect the Environment*Rate of Growth of Land assigned to RPPE

Units: Quantity of Land assigned to Traditional Farming/year

(38) Increase of Population = Population*Rate of Growth of Population

Units: Population density/year

(39) Increase of Rainfall Erosivity = Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over Rainfall Erosivity*Increase of Land assigned to Rural Practices that Degrade the Environment + Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Rainfall Erosivity*Increase of Land assigned to Rural Practices that Protect the Environment

Units: Rainfall Erosivity/year

(40) Increase of Tourism = (Rate of increase of tourism due to Desert + Rate of increase of Tourism not dependent of Desert)*Tourism

Units: Tourism/year

(41) Increase of Waste discharges = Effect of RPDE over Waste Discharges*Increase of Land assigned to Rural Practices that Degrade the Environment + Effect of Population over Waste Discharges*Increase of Population + Effect of Tourism over Waste Discharges*Increase of Tourism

Units: Waste discharges/year

(42) Increase of Wind erosivity = Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over Wind Erosivity*Increase of Land assigned to Rural Practices that Degrade the Environment + Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Wind Erosivity*Increase of Land assigned to Rural Practices that Protect the Environment

Units: Wind erosivity/year

(43) Increase of Soil erodibility = Effect of Const and roads over soil erodibility*Increase of construction and road network + Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over soil erodibility*Increase of Land assigned to Rural Practices that Degrade the Environment + Effect of Rural Practices that Protect the Environment over soil erodibility*Increase of Land assigned to Rural Practices that Protect the Environment

Units: Soil erodibility/year

(44) INITIAL TIME = 0. The initial time for the simulation

Units: year

(45) Population= INTEG (Increase of Population, 100)

Units: Population density

(46) Quantity of Land assigned to Rural Practices that Degrade the Environment = INTEG (Increase of Land

assigned to Rural Practices that Degrade the Environment, 100)

Units: Quantity of Land assigned to Destructive Agriculture

(47) Quantity of Land assigned to Rural Practices that Protect the Environment = INTEG (Increase of Land assigned to Rural Practices that Protect the Environment, 100)

Units: Quantity of Land assigned to Traditional Farming

(48) Rate of Growth of Land assigned to RPPE = - 0.01

Units: 1/year

(49) Rate of Growth of Population = 0.01

Units: 1/year

(50) Rate of growth of RPDE = 0.02

Units: 1/year

(51) Rate of increase of tourism due to Desert = WITH LOOKUP (DESERT/Aux 4, ((0,0)-(400,0.04)],(0,0),(400,0))

Units: 1/year [0,400]

(52) Rate of increase of Tourism not dependent of Desert = 0.01

Units: 1/year

(53) SAVEPER = TIME STEP

Units: year [0,?] The frequency with which output is stored

(54) TIME STEP = 1

Units: year [0,?] The time step for the simulation.

(55) Tourism = INTEG (Increase of Tourism, 100)

Units: Tourism

b) Diferencias de las constantes (parámetros) entre el Modelo de Tendencia y el Foster Cities & Protected Rural Spaces.

Effect of Construct over Aquifers - has changed in value

0.3 Tendency

0.01 Foster Cities & Protected Rural Spaces

Effect of Population over Const - has changed in value

0.3 Tendency

0.1 Foster Cities & Protected Rural Spaces

Effect of Rural Practices that Degrade the Environment over Rainfall Erosivity - has changed in value

0.3 Tendency

0.2 Foster Cities & Protected Rural Spaces

Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Biomass - has changed in value

- 1 Tendency
- 2 Foster Cities & Protected Rural Spaces

 Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Rainfall Erosivity - has changed in value

- 1 Tendency
- 2 Foster Cities & Protected Rural Spaces

 Effect of Rural Practices that Protect the Environment over soil erodibility - has changed in value

- 1 Tendency
- 2 Foster Cities & Protected Rural Spaces

 Effect of Rural Practices that Protect the Environment over Wind Erosivity - has changed in value

- 1 Tendency
- 2 Foster Cities & Protected Rural Spaces

 Effect of Tourism over Const - has changed in value

- 0.3 Tendency
- 0.1 Foster Cities & Protected Rural Spaces

 Effect of Waste Discharges over Aquifers - has changed in value

- 0.3 Tendency
- 0.1 Foster Cities & Protected Rural Spaces

 Rate of Growth of Land assigned to RPPE - has changed in value

- 0.01 Tendency
- 0.01 Foster Cities & Protected Rural Spaces

 Rate of growth of RPDE - has changed in value

- 0.02 Tendency
- 0.01 Foster Cities & Protected Rural Spaces

 Lookup differences between Tendency and Foster Cities & Protected Rural Spaces

Rate of increase of tourism due to Desert - has changed in value

Tendency	Foster Cities & Protected Rural Spaces
X Y	X Y
0 0	0 0.01
400 0	48 0.00289
	95 0.00368
	150 0.01
	200 0.015

GLOSARIO

DC = Dimensiones Críticas
 DSS = Decision Support Systems
 Equipo = Equipo del Proyecto.

EP = Elementos predeterminados.
 FC&PRS = Foster Cities & Protected Rural Spaces Scenario.
 FI = Fuerzas Impulsoras.
 IC = Incertidumbres Críticas.
 Proyecto = Proyecto de investigación financiado por el Gobierno de la Comunidad Autónoma de Canarias que financia la investigación cuyos resultado se utilizaron para este artículo.
 PRS = Protected Rural Spaces
 RPDE = Rural Practices that Degrade the Environment
 RPPE = Rural Practices that Protect the Environment
 SD = Strategic Decision(s)
 SSD = Sistemas de Soporte o apoyo a la toma de Decisiones
 TendS = Tendency Scenario (Escenario de (Tendencia)
 TIC = Tecnologías de la Información y de la Comunicación.
 TIDDD = Instrumentos para Informar los Diálogos, Debates y Deliberaciones.

REFERENCAS

[1] Legna Verna, Carlos, Kljajić, Miroljub, et al. "Development of Simulation Model of the Canary Islands for Strategic Decision Making." Organizacija, Journal of Management, Informatics, and Human Resources 38, 5 (Special Issue Simulation based Decision Support): 519-529, 2005b.
 [2] Legna Verna, Carlos, Kljajić, Miroljub, et al. "System Dynamics Model of the Canary Islands for Strategic Public Decision Support." Organizacija, Journal of Management, Informatics and Human Resources 38, 5(Special Issue Simulation based Decision Support): 508-518, 2005a.
 [3] Legna Verna, Carlos and González González, Carina, Application of System Dynamics and Case Base Reasoning (CBR) to build an Intelligent Decision Support System (IDSS) to improve Strategic Public Decisions. Intelligent Decision-Making Support Systems (i-DMSS): Foundations, Applications and Challenges. Gupta, J., Forgieonne, G. and Mora, M., Springer-Verlag, 2006.
 [4] Legna Verna, Carlos and González González, Carina, "An Intelligent Decision Support System for Public Decisions using System Dynamics and Case Based Reasoning (CBR)." Organizacija, Journal of Management, Informatics and Human Resources 38,5 (Special Issue Simulation based Decision Support): 530-536, 2005.

- [5] Legna Verna, Carlos, "A methodology for Improving Strategic Decision in Social Systems with a lack of Information." *Organizacija, Journal of Management, Informatics and Human Resources* 43(3): 102-113, 2010.
- [6] Legna Verna, Carlos. *Gestión Pública Estratégica y Prospectiva, con aplicaciones al ámbito regional y local*, Abecedario, Badajoz, 2005.
- [7] Legna Verna, Carlos, *Knowledge and Knowledge Management for the Improvement of Strategic Public Decisions. Decision Support through Knowledge Management*, Department of Computation and Systems Sciences of the University of Stockholm and the Royal Institute of Technology of Sweden, Stockholm, 2000.
- [8] Corral Quintana, S., Funtowicz, S., et al. *The GOUVERNe project. Interim JRC. JRC. Ispra, Italy, 2002.*
- [9] Guimarães Pereira, A., Corral Quintana, S., et al. *VISIONS. Adventures into the future. Italy, EU: EUR 19926 EN. Ispra, 2001.*
- Joint Research Centre - European Commission, *The ULYSSES Voyage. Ispra, 1998.*
- [10] Guimarães Pereira, Â. and Corral Quintana, S. *From Technocratic to Participatory Decision Support Systems: Responding to the New Governance Initiatives. I.02.42, E. J. T. N. n. Ispra, 2002a.*
- [11] De Marchi, B., Funtowicz, S. & Guimarães Pereira, Â. *e2-governance: electronic and extended. Proceedings of Conference Innovations and e-society. Challenges for technology assessment. Berlin, 2001.*
- [12] Guimarães Pereira, Â. and Corral Quintana, S. . 11. *Quality Assurance of Tools to Inform Debates, Dialogues & Deliberations. – A quality assurance Plan. EC – JRC. Ispra, 2002b .*
- [13] Sors, A., Liberatore, S., et al., *International Symposium - Prospects for Integrated Assessment: Lessons Learnt from the Case of Climate Change, Toulouse, 1997.*
- [14] De Marchi, B., Funtowicz, S. O., Gough, C., Guimarães Pereira, Â., Rota, E. *The ULYSSES Voyage: The ULYSSES project at the JRC. Ispra, 23. Joint Research Centre - European Commission. EUR 17760 EN. Ispra, 1998.*
- [15] Funtowicz, S. O. and Ravetz, J. R. *Uncertainty and Quality in Science for Policy, Dordrecht: Kluwer Academic Press. Dordrecht, 1990.*
- [16] Commission of the European Communities, *Democratising Expertise and Establishing Scientific Reference Systems, first edition, EC Brussels, 2001.*
- [17] Schwaninger, M. and S. Groesser (2009). *New Frontiers in the-Validation of Simulation*
- [18] Forester, J. W. (1971, updated 1995) *Counterintuitive Behavior of Social Systems. Technology Review Volume, DOI.*
- [19] Craik, K. (1943). *The Nature of Explanation. Cambridge, UK, Cambridge University Press.*
- [20] Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness. Cambridge, MA., Harvard University Press.*
- [21] Popper, K. R. (1959). *The Logic of Scientific Discovery. London, Hutchinson.*
- [22] Popper, K. R. (1972). *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach. Oxford, Clarendon Press.*
- [23] Johnson-Laird, P. and R. Byrne. (2000). "A Gentle Introduction." Retrieved march 15, 2012, from http://www.tcd.ie/Psychology/other/Ruth_Byrne/mental_models.
- [24] Schwartz, Peter, "La planification stratégique par scénarios." *Futuribles* May: 31-50, 1993.
- [25] Schwartz, Peter, *The Art of the Long View. Currency Doubleday, New York, 1996.*

CURRICULUM DE LOS AUTORES

El profesor Carlos Legna Verna es Doctor en Economía por la universidad Pierre Mendès France de Grenoble, Francia. Fué experto de la cooperación para el desarrollo de Naciones Unidas. Es profesor Emérito de la Universidad de La Laguna (España). Es miembro del "International Editorial Review Board of the "International Journal of Decision Support System Technology" y del "International Journal of Information Technologies and Systems Approach" (IJITSA).

Algunas publicaciones:

2012. "Gouvernance Stratégique Régionale et Urbaine par Scénarios". Único autor: Carlos Legna Verna. Éditions Universitaires Européennes, 2012. Saarbrücken. ISBN 978-3-8417-9160-3.

2010. Carlos Legna Verna, Andrej Skraba. "A methodology to improve strategic decisions in social systems, with a lack of information", "Organizacija, Journal of Management, Informatics and Human Resources, special number "Simulation based Decision Support". Liubiana.

2006. Carlos Legna Verna, Carina Gonzáles Gonzáles. "Application of System Dynamics and Case Base Reasoning (CBR) to build an Intelligent Decision Support System (IDSS) to improve Strategic Public Decisions", in "Intelligent Decision-Making Support Systems (i-DMSS): Foundations, Applications and Challenges", Jatinder Gupta,

Guisseppi Forgionne y Manuel Mora, co-editors, Springer-Verlag. . ISBN-10:1846282284.

2005. Mirosljub Kljajić, Carlos Legna Verna, Andrej Škraba. "Development of Simulation Model of the Canary Islands for Strategic Decision Making", elaborado con , Organizacija, Journal of Management, Informatics and Human Resources, Special Number, Simulation based Decision Support, vol. 38, Número 5, 519-529, Noviembre, Liubliana.

2005. Carlos Legna Verna. "Gestión Pública Estratégica y Prospectiva, con aplicaciones al ámbito regional y local", Abecedario, Badajoz, ISBN: 84-934437-2-7

El Profesor Serafin Corral Quintana Doctor en Economía Aplicada por la Universidad de La Laguna, España. Es profesor del Departamento de Economía de las Instituciones, Estadística Económica y Econometría de la Universidad de La Laguna. Sus principales áreas de investigación son las metodologías de aseguración de la calidad y los procesos y el encuadramiento y la evaluación de las políticas sobre procesos del medio ambiente. Últimamente se ha interesado en el diseño de los procesos de e-inclusión mediante la integración del e-aprendizaje y la e-participación. Ha coordinado y participado en Proyectos Europeos en los cuales los problemas científicos han sido integrados en el aprendizaje social utilizando las TIC particularmente aplicaciones (RE-FORMA project, GOUVERNe project, VIRTU@LIS y el VISIONS project) y en otros proyectos europeos que tratan del manejo del agua, tal como el VALSE project and ADVISOR.

Publicaciones seleccionadas:

Ângela Guimarães Pereira, Serafin Corral Quintana. 2007. "3 Pillars & 1 Beam: Quality of River Basin Governance Processes" Ecological Economics. Forthcoming

P. Paneque Salgado, S. Corral Quintana, Â. Guimarães Pereira, L. del Moral Ituarte, B. Pedregal Mateos. 2007. "Participative multi-criteria analysis for the evaluation of water governance alternatives. A case in the Costa del Sol (Málaga)". Ecological Economics. Forthcoming

Ângela Guimarães Pereira, Sofia Guedes Vaz & Sylvia Tognetti. Ed.. 2006. Interfaces Between Science & Society. Sheffield: Greenleaf Publishers.

Kallis, Giorgos, Nuno Videira, Paula Antunes, Ângela Guimarães Pereira, Clive L Spash, Harry Coccossis, Serafin Corral Quintana, Leandro del Moral, Dionisia Hatzilacou, Gonçalo Lobo, Alexandra Mexa, Pilar Paneque, Belen Pedregal Mateos, Rui Santos. 2006. "Participatory methods for water resources planning."

Environment and Planning C: Government and Policy 2006, Vol. 24(2) April, pages 215 – 234

2005. Corral Quintana, S. A Quality Assurance Framework for Policy-making: proposing a Quality Assurance Assistance Tool (QAAT). Submitted to Environment & Planning C.

2004. Serafin Corral Quintana, James Risbey, Jeroen van der Sluijs, Penny Klopogge, Jerry Ravetz, Silvio Funtowicz,. Application of a checklist for quality assistance in environmental modeling to an energy model. Environmental Modeling and Assessment 0: 1–17, 2004. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.

2003. Corral Quintana, S; Guimarães Pereira, A; Rinaudo, J. D.; Jeffrey, P; Blasques, J.; Courtois, N.; Funtowicz, F.; Petit, V. ICT Tools to support public participation in Water Resources Governance and Planning: Experiences from the design and Testing of a Multi-Media Platform. Journal of Environmental Assessment Policy and Management, vol 5, no. 3.

2002. Corral Quintana, S, Guimarães Pereira, A. From Technocratic to Participatory Decision Support Systems: responding to the new governance, Technical note No. I.02.42, Italy.

2002. Jeroen P. van der Sluijs, Jose Potting, James Risbey, Detlef van Vuuren, Bert de Vries, Arthur Beusen, Peter Heuberger, Serafin Corral Quintana, Silvio Funtowicz, Penny Klopogge, David Nuijten, Arthur Petersen, Jerry Ravetz. 2001. Uncertainty assessment of the IMAGE/TIMER B1 CO2 emissions scenario, using the NUSAP method Dutch National Research Program on Climate Change, Report no: 410 200 104.

2000. Corral Quintana, S. Una metodología integrada de exploración y comprensión de los procesos de elaboración de políticas públicas. Ph D. thesis, EUR 19724 ES, Italy.



www.dinamica-de-sistemas.com

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



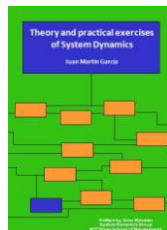
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)