

# ECONOMÍA EXPERIMENTAL EN LA TOMA DE DECISIONES EN AMBIENTES DINÁMICOS Y COMPLEJOS: UNA REVISIÓN DE DISEÑOS Y RESULTADOS\*

*Jaime Andrés Castañeda*\*\*

*Santiago Arango*\*\*\*

*Yris Olaya*\*\*\*\*

---

\* Artículo de revisión producto del proyecto de investigación *Análisis de ciclos en mercados eléctricos desregulados con utilización de capacidad variable por medio de economía experimental y dinámica de sistemas*, aprobado según la Resolución 005 de 2008 de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia. Fecha de inicio: octubre de 2008. Fecha de finalización: octubre de 2009. Financiado por la Dirección de Investigación Medellín y la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia. El artículo se recibió el 02-04-2009 y se aprobó el 19-11-2009.

\*\* Ingeniero de Sistemas e Informática, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2008. Asistente doctoral, Università della Svizzera italiana, Lugano, Suiza, Instituto de Administración. Correo electrónico: castanej@usi.ch.

\*\*\* PhD in System Dynamics, University of Bergen, Noruega, 2006; Magister en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2000; Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1998. Profesor asociado, Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Miembro del Centro de Complejidad Ceiba y del Grupo de Investigación en Sistemas e Informática. Correo electrónico: saarango@unal.edu.co.

\*\*\*\* PhD in Energy Economics, Colorado School of Mines, Golden (CO), Estados Unidos, 2005; Magister en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 1999; Ingeniera de Petróleos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 1997. Profesora asociada, Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Miembro del Grupo de Investigación en Sistemas e Informática. Correo electrónico: yolayam@unal.edu.co.

## Economía experimental en la toma de decisiones en ambientes dinámicos y complejos: una revisión de diseños y resultados

### RESUMEN

El artículo revisa el uso de los experimentos de laboratorio en la economía, la psicología y las ciencias de la administración en el estudio de la toma de decisiones en ambientes dinámicos y complejos. Tales ambientes no se han utilizado ampliamente en el laboratorio, aun sabiendo que mejoran la validación externa de los experimentos. En el ámbito económico, los resultados respaldan, con algunas excepciones, la teoría de elección racional o racionalidad perfecta, mientras que en los ámbitos de la psicología y las ciencias de la administración los resultados respaldan la teoría de racionalidad limitada y el uso de heurísticas o atajos mentales para tomar decisiones. En general, la complejidad que los sujetos enfrentan en ambientes dinámicos degrada su racionalidad y esto afecta negativamente su desempeño en la toma de decisiones. Los estudios revisados muestran la flexibilidad que ofrece la economía experimental para diseñar experimentos de laboratorio, en particular aquellos hechos para probar teorías relevantes en un gran número de situaciones, especialmente en ambientes dinámicos y complejos.

#### Palabras clave:

experimentos de laboratorio, toma de decisiones, ambientes dinámicos y complejos, racionalidad limitada.

## Experimental Economics Applied to Decision Making in Dynamic and Complex Environments: A Review of Designs and Results

### ABSTRACT

The article reviews the use of economics, psychology and business administration science laboratory experiments in the study of decision making in complex and dynamic environments. Such environments have not been sufficiently utilized in the laboratory, in spite of knowing that they greatly contribute to the external validation of experiments. In the ambit of economics, the results support, with some exceptions, the rational choice or perfect rationality theory; whereas in psychology and business administration sciences they support the limited rationality theory and the use of heuristics or mental shortcuts for making decisions. In general, it can be said that the complexity that people confront in dynamic environments compromises their rationality, which in turn has a negative effect on their decision making performance. The reviewed studies manifest the flexibility offered by experimental economics in designing laboratory trials, particularly those intended to test theories that are relevant in a large number of situations, especially in complex and dynamic environments.

#### Key words:

Laboratory experiments, decision making, dynamic and complex environments, limited rationality.

## Economia experimental na tomada de decisões em ambientes dinâmicos e complexos: uma revisão de modelos e resultados

### RESUMO

O artigo revisa o uso dos experimentos de laboratório na economia, na psicologia e nas ciências da administração no estudo da tomada de decisões em ambientes dinâmicos e complexos. Tais ambientes não foram utilizados amplamente no laboratório, mesmo sabendo que melhoram a validação externa dos experimentos. No âmbito econômico, os resultados respaldam, com algumas exceções, a teoria de eleição racional ou racionalidade perfeita, enquanto que nos âmbitos da psicologia e das ciências administrativas, os resultados respaldam a teoria da racionalidade limitada e o uso de heurística ou atalhos mentais para tomar decisões. Em geral, a complexidade que os sujeitos enfrentam em ambientes dinâmicos degrada sua racionalidade e isto afeta negativamente seu desempenho na tomada de decisões. Os estudos revisados mostram a flexibilidade que oferece a economia experimental para desenhar experimentos de laboratório, em particular aqueles feitos para provar teorías relevantes para um grande número de situações, especialmente em ambientes dinâmicos e complexos.

#### Palavras chave:

experimentos de laboratório, tomada de decisões, ambientes dinâmicos e complexos, racionalidade limitada.

## Introducción

La economía experimental es un método formal para probar teorías económicas. Los componentes básicos de este método son el objetivo perseguido por los participantes del experimento, el sistema donde ellos se desenvuelven y el comportamiento de estos (Friedman y Sunder, 1994; Friedman y Cassar, 2004). El uso de experimentos de laboratorio ha estado limitado a diseños muy simples. La mayoría de los estudios en economía experimental no incluyen estructuras dinámicas o son reiniciados cada período (v. g., Plott, 1982; Smith, 1982; Plott y Smith, 2008). Por ejemplo, no hay remanentes, como órdenes sin entregar, inventarios y capacidades. Al estudiar la toma de *decisiones en ambientes dinámicos y complejos* (DADC), la psicología y las ciencias de la administración han respondido a esta crítica de forma directa, y así han contribuido a la discusión de las teorías de toma de decisiones.

Así es como, desde comienzos de la década de los ochenta, la psicología y las ciencias de la administración han empleado conceptos y métodos de la economía experimental para el estudio de las DADC. El estudio de estas decisiones trata, en esencia, de estudiar el efecto de la complejidad en el desempeño en la toma de decisiones en ambientes dinámicos (Serman, 1989a; González, Martín y Vanyukow, 2005).

En este artículo presentamos una visión crítica de la literatura de estudios experimentales en ambientes dinámicos y complejos. Nuestra revisión abarca estudios realizados desde la perspectiva de la economía, la psicología y

las ciencias de la administración. Uno de los principales resultados comunes en los estudios revisados es que la complejidad de los ambientes dinámicos deteriora el desempeño de los decisores, comparado con el desempeño óptimo o con otros puntos de referencia. Como consecuencia de este deterioro, las acciones de los decisores en ambientes dinámicos y complejos contradicen las predicciones de maximización de la utilidad de la teoría de elección racional (v. g., Serman, 1989a y 1989b).

En la sección 1 de este trabajo se explican los principios de los experimentos de laboratorio. En la sección 2 se describen las características propias de un ambiente dinámico y complejo. Seguidamente, la sección 3 presenta una discusión acerca del uso de las teorías de elección racional y racionalidad limitada para explicar el comportamiento en la toma de decisiones. En la sección 4 se mencionan aspectos de diseño y los resultados de algunos experimentos de laboratorio llevados a cabo en el ámbito de las tres disciplinas mencionadas. Por último, se presentan los comentarios finales.

### 1. Principios de los experimentos de laboratorio

Los experimentos de laboratorio tienen lugar en un ambiente controlado que, como se mencionó, consiste de un objetivo, que es la meta perseguida por los participantes; un sistema, que describe el ambiente de toma de decisiones y las reglas de comportamiento, y el comportamiento, que son las decisiones tomadas por los sujetos (Friedman y Sunder, 1994; Friedman y Cassar, 2004). Por ejem-

plo, el objetivo podría ser que los agentes de un mercado maximicen sus beneficios, el sistema podría ser un tipo particular de mercado donde los compradores sólo pueden comprar cierta cantidad de unidades a los vendedores y el comportamiento sería entonces las decisiones de compra y venta. En este marco, el experimentador controla el objetivo y el sistema, y observa el comportamiento de los sujetos (Arango y Moxnes, 2008).

El principio básico de la economía experimental es la teoría del valor inducido (Smith, 1976 y 1982), referida a que el uso de un medio de recompensa apropiado permite inducir un comportamiento determinado en los agentes, de manera que sus intereses particulares no interfieran con el propósito del experimento. La monotonicidad, la prominencia y la dominancia son las condiciones suficientes para inducir el comportamiento (Smith, 1982).

La *monotonicidad* significa que con un medio de recompensa apropiado más es siempre mejor (o, alternativamente, menos es siempre mejor). Por ejemplo, se puede afirmar que todo sujeto humano prefiere más ganancias en efectivo que menos, y prefiere menos trabajo duro que más. La *prominencia* significa que la recompensa recibida por los sujetos depende de sus acciones y de las acciones de los demás sujetos, y que ellos entienden esto. Por ejemplo, un pago de \$1.000 por cada \$1.000 de utilidad ganados en el experimento es prominente, debido a que depende de las acciones de los sujetos. Por último, la *dominancia* significa que cambios en la utilidad de los sujetos proceden del medio de recompensa y que el resto de influencias son

despreciables. Por ejemplo, los sujetos, a menudo, se preocupan por las recompensas que pueden ganar los otros sujetos, por lo que los procedimientos experimentales deben hacer imposible conocer o estimar las recompensas del resto de los sujetos.

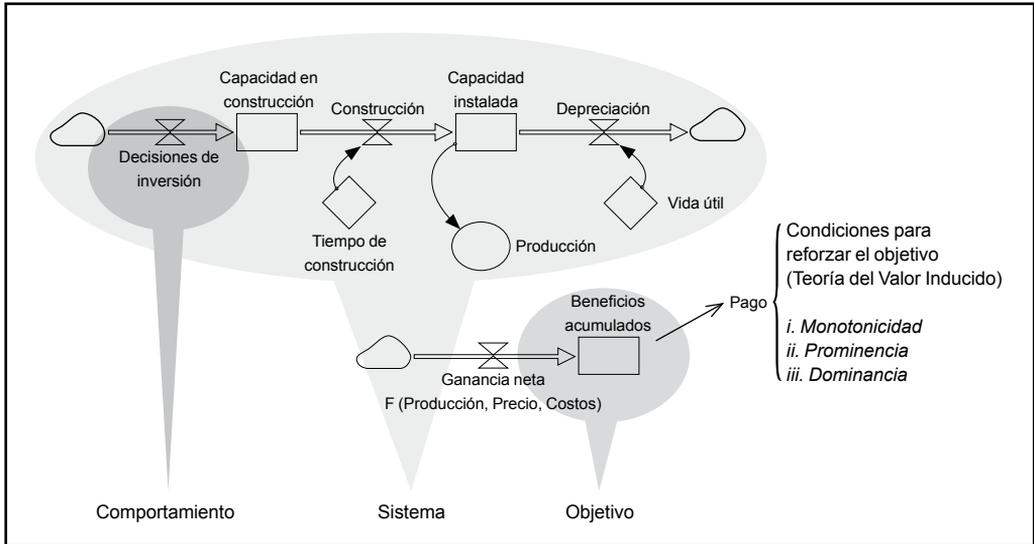
Por lo general, estas tres condiciones se satisfacen realizando pagos en moneda local que sean mayores al costo de oportunidad de los sujetos. El Gráfico 1 muestra los componentes básicos de un experimento en la toma de decisiones.

A pesar de la carta de plena naturaleza que supone la concesión en 2002 del premio Nobel de Economía a Vernon L. Smith, padre de la economía experimental, muchos economistas aún cuestionan la validez externa de los datos recogidos en los experimentos, argumentando que los resultados no son representativos de la vida real (Loewenstein, 1999; Samuelson, 2005). Para responder a esta crítica se recurre al principio de inducción, el cual afirma que las regularidades comportamentales persistirán en nuevas situaciones, siempre que las condiciones fundamentales de la nueva situación sean similares a las de la situación anterior (Smith, 1982). Si se demuestra con claridad que el ambiente del laboratorio difiere de manera significativa del mundo real, puede realizarse un nuevo experimento para estudiar el efecto de dichas diferencias en el comportamiento humano.

De esta manera, los ambientes de laboratorio pueden representar la toma de decisiones reales, siempre que se diseñen de acuerdo con los principios del valor inducido y de induc-

Gráfico 1

**Ejemplo de un experimento en la toma de decisiones: mercado eléctrico donde los sujetos toman decisiones de inversión buscando maximizar sus beneficios\***



\* La notación de flujos (válvulas) y niveles (rectángulos) presentada muestra relaciones entre variables que cambian en el tiempo, un incremento en el flujo de entrada que aumenta el nivel, pero un aumento en el flujo de salida que lo disminuye (Sterman, 2000).

Fuente: elaboración propia.

ción. En la siguiente sección discutimos la dinámica y complejidad de los entornos de decisión como elementos para incrementar la validez externa de los experimentos al acercarlos más a los entornos de decisión reales.

## 2. Dinámica como elemento de complejidad

La complejidad en un experimento puede darse debido a la cantidad de variables, la interacción entre los agentes, la estructura del sistema o efectos dinámicos. En este trabajo se hace hincapié en este último: la dinámica como elemento de complejidad. Mientras los aspectos dinámicos se relacionan con el efecto que tienen las decisiones en el estado del

sistema estudiado, la complejidad se refiere a aquellas características del sistema que dificultan predecir el resultado de las decisiones (Sterman, 1989a).

La introducción de la dinámica en los experimentos de laboratorio les da mayor realismo, por cuanto los hace más similares a los entornos de decisión reales. La dinámica se refiere a que las decisiones alteran el estado del sistema de maneras que cambian el ambiente de decisión que se enfrenta en un futuro (Edwards, 1962; Brehmer, 1992; Paich y Sterman, 1993), lo que da lugar a relaciones a través de las cuales una variable tiene influencia sobre ella misma u otras variables en el tiempo. Estas relaciones se conocen como

*ciclos de realimentación* y son la base de la evolución de los sistemas dinámicos (González et al., 2005). Sterman (1989a) acuñó la expresión *complejidad dinámica* para referirse a los efectos de la complejidad en el control de sistemas dinámicos.

Independientemente de si el sistema es dinámico o no, la complejidad se manifiesta en su comportamiento. Con frecuencia, los sistemas complejos exhiben comportamientos difíciles de describir y estos comportamientos ocurren tanto en sistemas de unos pocos elementos como en sistemas con muchos elementos relacionados de forma intrincada (González et al., 2005).

En general, la complejidad de una situación está determinada por el número de componentes o variables y del tipo de relación entre estas (Funke, 1991; Brehmer, 1992; Brehmer y Dörner, 1993). Otros factores que determinan la complejidad de un sistema son los retardos, que corresponden al tiempo que transcurre entre el momento en que se toma una decisión y el momento en que la información acerca del efecto de dicha decisión está disponible (Sterman, 1989a y 1989b; Paich y Sterman, 1993; Diehl y Sterman, 1995; Rouwette, Größler y Vennix, 2004; González et al., 2005).

Cuando se habla de complejidad dinámica, se hace referencia al efecto de la complejidad en la habilidad de un decisor para controlar un sistema dinámico (Sterman, 1989a; González et al., 2005). Antes de revisar y analizar los principales experimentos que tratan la complejidad dinámica en la toma de decisiones, es importante introducir las teorías disponi-

bles en la toma de decisiones. Esto se hace en la siguiente sección.

### **3. Teorías en la toma de decisiones**

Los experimentos de laboratorio estudian la toma de decisiones en un gran número de situaciones. Para su análisis, los resultados experimentales se apoyan en las teorías disponibles en la toma de decisiones. En general, hay dos corrientes de teorías que se proponen para explicar los resultados obtenidos en la mayoría de estudios experimentales en las DADC: la teoría de elección racional (Muth, 1961; Lucas, 1981) y la teoría de racionalidad limitada (Simon, 1955 y 1979).

La elección racional, según la cual los decisores maximizan su utilidad esperada, asume un conocimiento perfecto de todas las políticas disponibles, un conocimiento completo de todos los resultados posibles generados como consecuencia de la aplicación de todas las políticas y certidumbre en los decisores acerca de los resultados presentes y futuros de tales consecuencias.

El decisor tiene la habilidad de comparar las políticas, no importa cuán diversas y heterogéneas sean. De esta manera, los agentes del mercado se aseguran de que sus decisiones maximicen sus utilidades (Muth, 1961; Lucas, 1981). La teoría de expectativas racionales extiende la teoría de elección racional, al argumentar que los decisores tienen expectativas no sesgadas acerca del futuro (Muth, 1961; Lucas, 1981) y que, por lo tanto, estas son esencialmente iguales a las predicciones de la teoría económica relevante (Fama, 1970).

En contraste con la elección racional, la teoría de racionalidad limitada asume que los decisores buscan procedimientos que transforman los problemas de decisión en problemas tratables (Simon, 1955 y 1979). Simon plantea que la racionalidad limitada es una teoría de búsqueda y satisfacción: si inicialmente al decisor no se le dan las opciones que puede escoger, este debe buscarlas, y bajo el postulado de que el decisor tiene una aspiración de cuán buena es la opción que se debería encontrar, escoge una que satisface su aspiración. Las heurísticas, o reglas sencillas, que los decisores usan para reducir la evaluación y predicción de probabilidades y valores a simples operaciones de juicio (Tversky y Kahneman, 1974), son una extensión de la teoría de racionalidad limitada (Kleinmuntz, 1993).

La elección racional ha sido la teoría dominante para explicar las decisiones en la economía; sin embargo, la racionalidad limitada ha obtenido, durante las últimas décadas, más y más evidencia de su consistencia (Conlisk, 1996; Foss, 2003; Kahneman, 2003). En este sentido, los experimentos de laboratorio en condiciones de complejidad dinámica han dado mayor sustento a la racionalidad limitada como se muestra en este artículo. A continuación mostramos diseños y resultados de trabajos experimentales en ambientes con complejidad dinámica.

## 4. Algunos resultados experimentales

Aunque se puede pensar que las tres disciplinas mencionadas, es decir, psicología, economía y ciencias de la administración,

abordan el estudio de las DADC separadamente, en realidad se observan trabajos con aspectos colaborativos, que han permitido la discusión de teorías y el crecimiento de la literatura relacionada con el tema. Por ejemplo, la intersección entre las ciencias de la administración y la economía ha permitido estudiar la toma de decisiones en mercados más reales; así mismo, la conjunción entre la psicología tanto con la economía como con las ciencias de la administración ha permitido estudiar los mecanismos utilizados en la toma de decisiones económicas y ha encontrado diversos puntos de intersección, que han dado lugar incluso a nuevas disciplinas como la economía del comportamiento.

### 4.1 Desde la economía

Los experimentos de laboratorio se han usado para probar teorías económicas en diferentes áreas. Como se mencionó, la mayoría de experimentos económicos utilizan diseños muy simples donde no hay estructuras dinámicas, como remanentes, o son reiniciados cada período. No obstante, los aspectos dinámicos de las decisiones económicas se han abordado en el análisis del equilibrio de juegos, en el estudio de algunos temas macroeconómicos (como las burbujas especulativas y el uso de dinero como medio de cambio) y en el estudio del equilibrio de mercados.

#### 4.1.1 Teoría de juegos

Uno de los propósitos de los experimentos en la teoría de juegos es analizar si los conceptos teóricos de solución de juegos pueden reproducirse (Shubik, 1988). En este sentido, Siegel y Fouraker (1960) realizaron el primer

trabajo experimental de teoría cooperativa de juegos. En este experimento se recreó un monopolio bilateral y se analizó el efecto de la disponibilidad de información acerca de las utilidades del oponente en el resultado del juego.

Los sujetos, anónimos y pagados, se instruyeron para maximizar utilidades. Como resultado de este experimento, se encontró que la probabilidad de alcanzar una solución de Pareto<sup>1</sup> es mayor cuando se tiene más información disponible. Más adelante, Roth (1983) manipuló las condiciones de información de las negociaciones para analizar si los resultados de los juegos eran consistentes con las predicciones teóricas y encontró resultados consistentes con el equilibrio estratégico, así como sin consistencia con las predicciones teóricas (Roth y Schoumaker, 1983).

#### 4.1.2 *Macroeconomía*

Para estudiar las burbujas especulativas, Miller, Plott y Smith (1977) diseñaron mercados con incertidumbre en el hecho de si era favorable comprar en la temporada 1 o en la 2, y mercados con incertidumbre en los precios de reventa de la temporada 2 al momento de las compras de la temporada 1. El objetivo de este diseño experimental era estudiar el efecto de la incertidumbre en la formación de burbujas especulativas. El comportamiento

de ambos mercados fue estable y convergió a un equilibrio y sin exhibir las propiedades de inestabilidad encontradas en la literatura. Así, estos resultados respaldan la teoría de expectativas racionales (Smith, Suchanek y Williams, 1988).

En un estudio posterior, Smith et al. (1988) realizaron experimentos para investigar la posible ocurrencia de un comportamiento especulativo en mercados donde los agentes tenían conocimiento de todos los posibles valores de dividendos que se podrían obtener y la probabilidad asociada a cada valor potencial del dividendo. Lei, Noussair y Plott (2001) realizaron experimentos en los cuales controlaron la especulación y observaron burbujas bajo distintas condiciones de transacción; estos resultados pueden clasificarse como errores de los compradores ante la ausencia de especulación (Noussair y Plott, 2008).

Al estudiar el uso de dinero como un medio de cambio, Brown (1996) probó experimentalmente las predicciones de equilibrio del modelo Kiyotaki-Wright (1989)<sup>2</sup>. Los resultados de Brown mostraron que la mayoría de los sujetos no adoptó la estrategia óptima (estrategia de Nash). Como anota Brown, aunque inicialmente las estrategias adoptadas por los sujetos pueden ser vistas como respuestas racionales, en el largo plazo generan desviaciones no óptimas.

<sup>1</sup> Dado un conjunto de asignaciones alternativas de bienes o ingresos para un conjunto de personas, un movimiento de una asignación a otra que puede hacer que al menos una persona esté en mejor posición, sin hacer que las demás personas empeoren, se llama una mejora de Pareto. Una asignación es una solución de Pareto cuando no se pueden hacer más mejoras de Pareto.

<sup>2</sup> El modelo Kiyotaki-Wright es un modelo del rol del dinero que muestra cómo este aumenta la eficiencia económica y permite el comercio de muchos tipos diferentes de bienes que no podrían ser comerciados bajo un sistema de trueque.

Más adelante, Duffy y Ochs (1999) ubicaron a los sujetos en ambientes Kiyotaki-Wright para investigar si estos formaban sus expectativas de rentabilidad de manera racional. A diferencia de Brown, Duffy y Ochs variaron las condiciones de comercio; en caso de actuar racionalmente, los sujetos deberían cambiar de estrategia ante dichas variaciones. Los análisis sobre los datos no reflejaron ninguna respuesta ante cambios en las condiciones de comercio y mostraron resultados negativos respecto a las predicciones de equilibrio del modelo Kiyotaki-Wright.

### 4.1.3 Microeconomía

El equilibrio de mercados y la formación de precios se ha investigado en experimentos de mercados basados en el teorema de la telaraña (conocido en inglés como *cobweb*) (Ezekiel, 1938)<sup>3</sup>. Por ejemplo, Carlson (1967) llevó a cabo experimentos donde los sujetos forman sus propias expectativas de precios y toman decisiones de oferta conociendo sólo el precio pasado y sus expectativas del precio futuro. Los resultados mostraron un comportamiento estable y consistente con la teoría de expectativas racionales.

En un estudio posterior, Holt y Villamil (1986) realizaron experimentos en mercados de *telaraña* con parámetros que, según la teoría, conducirían a oscilaciones explosivas.

<sup>3</sup> El modelo de la telaraña es la teoría económica clásica de ciclos y postula que la demanda responde al precio inmediatamente, pero la oferta responde con un retardo de un período. El modelo oscila con un período igual a dos veces el retardo en la producción. Además, dependiendo de los supuestos acerca de la elasticidad del precio, las oscilaciones pueden ser amortiguadas (convergen a un equilibrio), sostenidas o explosivas.

El comportamiento teórico no se materializó porque el precio estuvo aproximadamente alrededor del equilibrio competitivo. Por otro lado, Sonnemans, Hommes, Tuinstra y van de Velden (2004) llevaron a cabo experimentos de estrategia en mercados de *telaraña* donde el pronóstico del precio se obtenía con base en las estrategias de formación de expectativas formuladas por los sujetos.

Se observó una convergencia de los precios hacia alguna vecindad del equilibrio de expectativas racionales, pero con fluctuaciones aparentemente caóticas en más de la mitad de los mercados. El análisis de resultados mostró que dicho comportamiento fue resultado de la interacción de diferentes estrategias, mas no de características de estrategias individuales.

Sutan y Willinger (2004) también estudiaron la formación de expectativas en mercados de *telaraña* y analizaron si la coordinación de expectativas —una extensión del comportamiento racional (Muth, 1961)— se materializaba en el laboratorio. Para esto diseñaron mercados con parámetros que, en teoría, conducirían al equilibrio y mercados donde no se esperaría tal comportamiento. En la mayoría de los mercados se observó convergencia del precio a un precio ligeramente mayor al precio de equilibrio de expectativas racionales, lo que contradecía las predicciones del supuesto de coordinación de expectativas.

La formación de precios en mercados oligopólicos combina la teoría de juegos con las teorías de formación de precios y también se ha estudiado por medio de experimentos. Rassenti, Reynolds, Smith y Szidarovszky

(2000) investigaron si el juego repetido a la Cournot<sup>4</sup> conduce a un equilibrio de Nash en experimentos con 75 períodos de transacción, que varían las condiciones de información con el objetivo de distinguir si la convergencia hacia dicho equilibrio, en caso de que se presentara, se daba a través de uno de cuatro procesos de aprendizaje<sup>5</sup>, los cuales se basan en la información que tienen disponible los sujetos para explicar cómo se alcanza el equilibrio.

Se observaron niveles de producción individuales que no corresponden al equilibrio de Nash y ninguno de los procesos de aprendizaje analizados pudo explicar los resultados; sin embargo, se observaron niveles de producción agregados ligeramente por encima del equilibrio de Nash. En un trabajo posterior, Huck, Normann y Oechssler (2002) estudiaron las predicciones del proceso de ajuste de la mejor respuesta, propuesto por Cournot (1838)<sup>6</sup> bajo condiciones donde dicho proceso debería oscilar perpetuamente entre dos valores extremos y condiciones adicionales, donde debería converger a un equilibrio. No se observaron diferencias notables entre ambas condiciones y los niveles de pro-

ducción estuvieron ligeramente por encima del equilibrio de Nash. Por otro lado, Huck et al. (2004) investigaron la competitividad de mercados de Cournot para diferentes números de firmas en una industria, diseñando mercados con dos, tres, cuatro y cinco firmas. Se observó que la cantidad de firmas desempeña un rol importante, porque la mayoría de los experimentos con dos firmas mostraron resultados colusorios, mientras que el resto de experimentos convergió alrededor del equilibrio de Nash, a excepción de algunos casos que mostraron resultados competitivos. Los autores realizaron los experimentos en condiciones estándar (Huck, 2004). El Cuadro 1 resume los principales hallazgos.

En resumen, desde la economía, los resultados experimentales muestran que el comportamiento de los sujetos conduce los mercados a puntos de equilibrio o a fluctuaciones aleatorias alrededor de estos, que alejan los mercados de comportamientos cíclicos o inestables que, en teoría, deberían emerger (Plott y Smith, 2008) y dar algo de respaldo a la teoría de expectativas racionales. Sin embargo, algunos experimentos macroeconómicos y en teoría de juegos muestran ambientes donde no se observan resultados consistentes con las predicciones teóricas como producto de un proceder no racional en la toma de decisiones (v. g., Roth, 1983; Duffy y Ochs, 1999; Lei et al., 2001), lo cual respalda la teoría de racionalidad limitada.

## 4.2 Desde la psicología

Los experimentos de laboratorio en la toma de decisiones en la psicología han estudiado principalmente el análisis de decisiones ba-

<sup>4</sup> En un juego a la Cournot, cada una de las  $N$  firmas de una industria escoge un nivel de producción. El precio de mercado es una función decreciente en términos de la producción total y es de conocimiento común. Todas las firmas conocen  $N$  y toman la producción de los demás como dada. Cada firma tiene una función de costos y usualmente es tratada como de conocimiento común e igual para todas las firmas.

<sup>5</sup> Los procesos analizados fueron la mejor respuesta, el ajuste parcial a la mejor respuesta, el juego ficticio y el aprendizaje adaptativo.

<sup>6</sup> La mejor respuesta es el proceso de ajuste propuesto por Cournot para un oligopolio donde cada firma decide su producción más favorable según la producción previa de las otras firmas.

Cuadro 1

**Diseño y resultados de experimentos en economía**

Estudio	Diseño	Resultado
<b>Macroeconomía</b>		
Miller et al. (1977)	Mercados de acciones, variación de condiciones de burbujas especulativas	Convergencia a un equilibrio y soporte a expectativas racionales
Smith et al. (1988)	Mercados de acciones, variación de condiciones de burbujas especulativas	Ocurrencia de burbujas aun en las condiciones donde es menos probable observar su ocurrencia, posible evidencia de racionalidad limitada
Lei et al. (2000)	Mercados de acciones, eliminación de demanda especulativa, variación de condiciones de transacción	Ocurrencia de burbujas aun cuando no se realizaban muchas transacciones, sustento a racionalidad limitada
Brown (1996)	Mercados Kiyotaki-Wright	Utilización de estrategias no óptimas, posible evidencia de racionalidad limitada
Duffy y Ochs (1999)	Mercados Kiyotaki-Wright, variación de condiciones de comercio	No hay cambio de estrategia en las condiciones que lo exigen para obtener resultados óptimos o sustento a racionalidad limitada
<b>Teoría de juegos</b>		
Siegel y Fouraker (1960)	Juegos de negociación de 2 personas, variación de condiciones de información	La cantidad de información disponible aumenta las posibilidades de llegar a soluciones de Pareto
Roth (1983)	Juegos de negociación de 2 personas, variación de condiciones de información	La información convencional en juegos de negociación no ayuda a explicar los resultados, evidencia de comportamiento tanto no racional como racional
<b>Microeconomía</b>		
Carlson (1967)	Mercados de <i>telaraña</i> con más de 20 personas, variación de condiciones de estabilidad	Comportamiento estable en condiciones de inestabilidad, sustento a expectativas racionales
Holt y Villamil (1986)	Mercados de <i>telaraña</i> con 4 personas bajo condiciones de inestabilidad	Comportamiento estable, convergencia del precio alrededor del equilibrio competitivo
Sonnemans et al. (2004)	Juegos estratégicos de formación de expectativas en mercados de <i>telaraña</i> con 6 personas	Convergencia del precio alrededor del equilibrio de expectativas racionales
Sutan y Willinger (2004)	Mercados de <i>telaraña</i> con 5 personas, variación de condiciones de estabilidad	Comportamiento estable en condiciones de inestabilidad, convergencia del precio alrededor del equilibrio de expectativas racionales
Rassenti et al. (2000)	Juegos repetidos a la Cournot, variación de condiciones de información	Niveles de producción individuales diferentes al equilibrio de Nash, convergencia alrededor del equilibrio de Nash a nivel agregado
Huck et al. (2002)	Juegos a la Cournot bajo condiciones estándar, variación de condiciones de estabilidad	Comportamiento estable en condiciones de inestabilidad, niveles de producción alrededor del equilibrio de Nash, soporte a elección racional
Huck et al. (2004):	Juegos a la Cournot bajo condiciones estándar, variación del número de firmas de la industria	Colusión con 2 firmas, convergencia del precio alrededor del equilibrio de Nash con 3, 4 y 5 firmas con algunas excepciones, soporte a elección racional

Fuente: elaboración propia a partir de los autores citados.

jo riesgo e incertidumbre. De acuerdo con Hubbard (2009), incertidumbre a la falta de completa certidumbre, es decir, a la existencia de muchas posibilidades donde el resultado o valor verdadero es desconocido; mientras que riesgo es un estado de incertidumbre donde hay las posibilidades de pérdidas o resultados no deseados.

La medida de la incertidumbre se refiere sólo a las probabilidades asignadas de los resultados; entre tanto, la medida de riesgo requiere tanto la probabilidad de los resultados como la cuantificación de las pérdidas por los resultados. En este sentido, es posible tener incertidumbre sin riesgo, pero no riesgo sin incertidumbre. Por ejemplo, hay incertidumbre en una competencia o concurso para ganar algo sin riesgo; pero si se hace una apuesta o una inversión de dinero, se tiene un riesgo.

Como resultado de algunos estudios en este campo, se han analizado teorías alternativas a la elección racional, como la teoría de las perspectivas (Kahneman y Tversky, 1979; Tversky y Kahneman, 1992) y la teoría del arrepentimiento (Loomes y Sugden, 1982 y 1987), que no sólo han tenido eco en la psicología, sino también en la economía; sin embargo, un considerable número de trabajos se ha enfocado en las dificultades cognitivas que tienen las personas en las DADC. Los experimentos de estas investigaciones han utilizado como método generalizado simuladores bastante complejos y algunos no cuentan con todo el rigor experimental descrito en la sección 1.

Brehmer (1992) y Brehmer y Dörner (1993) clasificaron las investigaciones experimenta-

les en dos grupos de acuerdo con su propósito. En el primer grupo, llamado *diferencias individuales*, se comparan los resultados entre grupos con desempeños opuestos, bien sea respecto a las estrategias utilizadas o respecto al desempeño en pruebas psicológicas, a fin de entender las diferencias entre aquellos que lo hicieron bien y aquellos que no.

Los micromundos<sup>7</sup> Lohhausen (Dörner, Kreuzig, Reither y Stäudel, 1983) y Moro (Dörner, Stäudel y Strohschneider, 1986), que son simulaciones con un gran número de variables conectadas a través de realimentaciones positivas y negativas con efectos retardados, clasifican en este grupo. El primero corresponde a una población alemana y el segundo a una tribu nómada del Sahara meridional. En ambos los sujetos deben mejorar las condiciones de vida de la población.

Los resultados de diferentes experimentos llevados a cabo con ellos (v. g., Dörner, 1980; Dörner et al., 1983; Dörner, Nixon y Rosen, 1990; Stäudel, 1987; Schaub y Strohschneider, 1989) muestran diferencias individuales considerables en el desempeño, las cuales no se correlacionan con las pruebas psicológicas tradicionales de inteligencia y personalidad. Aquellos quienes se desempeñaron mal tuvieron dificultades para tomar en cuenta los efectos de largo plazo, adoptaron un comportamiento ad hoc —consideración de las demandas de la situación que se tiene a mano—, adoptaron una actitud balística —toma de decisiones sin verificar luego sus resulta-

<sup>7</sup> Brehmer y Dörner (1993) llamaron *micromundos* a las simulaciones de sistemas donde se estudiaba la interacción de los sujetos con dichas simulaciones.

dos— y vagaron de un tema a otro cuando la situación se volvía inmanejable o, por el contrario, se concentraron en un objetivo pequeño y fácil de alcanzar, pero desdijeron otros aspectos del problema que también debían ser resueltos (Brehmer y Dörner, 1993).

El efecto negativo de los retardos y los efectos colaterales en la toma de decisiones se observó en simuladores de incendios forestales (Brehmer, 1987 y 1990; Brehmer y Allard, 1991), correspondientes al segundo grupo o grupo experimental, el cual estudia el efecto de las características del sistema sobre el desempeño de los decisores.

Aunque no mencionados por Brehmer y Dörner, Kleinmuntz y Thomas (1987) desarrollaron una simulación de tareas médicas en un ambiente basado en relaciones probabilísticas entre enfermedades, síntomas y tratamientos, manipulando las condiciones de riesgo asociadas con la probabilidad de que un tratamiento cause la muerte de un paciente y la disponibilidad de información de respaldo para la toma de decisiones.

Las condiciones de riesgo y disponibilidad de información tuvieron una influencia positiva en el desempeño reflejado en la proporción de pacientes curados. La mayoría de sujetos utilizó la estrategia de deliberar (diagnósticos) y luego actuar (tratamientos), que resultó en la muerte de alrededor del 30% de los pacientes. A pesar de que había oportunidad de adoptar otro tratamiento si el tratamiento inicial fallaba, muy pocos sujetos utilizaron esta estrategia, incluso cuando hubiera lle-

vado a un desempeño superior<sup>8</sup>. El Cuadro 2 resume los principales hallazgos.

En resumen, los resultados experimentales desde la psicología sugieren una limitada capacidad de las personas para tomar decisiones. Este desempeño parece consistente con la teoría de racionalidad limitada; sin embargo, no hay análisis formales que corroboren tal consistencia. Aunque la mayoría de los experimentos en psicología no cuentan con el rigor experimental de la teoría del valor inducido, su aporte y valor científico es bien reconocido en otras ramas del saber, como la economía y las ciencias de la administración (Arango y Moxnes, 2008).

### ***4.3 Desde las ciencias de la administración***

Los experimentos de laboratorio en las ciencias de la administración han tenido como uno de sus propósitos generales el estudio de las DADC. La importancia de este conjunto de experimentos radica en la gran cantidad de problemas de la vida real que poseen estas características. La mayoría de trabajos en esta área se distinguen de los tradicionales experimentos económicos y de teoría de juegos en que recrean ambientes más complejos y reales, gracias a la introducción de retardos mayores a los considerados por el teorema de la telaraña, ciclos de realimentación y no linealidades.

<sup>8</sup> Véase Dijksterhuis, Bos, Nordgren y van Baaren (2006) para una discusión breve acerca de si es ventajoso deliberar antes de tomar una decisión.

Cuadro 2

**Diseño y resultados de experimentos en psicología**

Estudio	Diseño	Resultado
Dörner (1980), Dörner et al. (1983, 1986 y 1990), Stäudel (1987), Schaub y Strohschneider (1989)	Simulación individual de poderes dictatoriales (Lohhausen y Moro): gran número de variables, ciclos de realimentación, retardos, no linealidades, desarrollo de pruebas psicológicas de inteligencia y personalidad	Consideración de las demandas de la situación que se tiene a mano, toma de decisiones sin verificar luego sus resultados, abandono de situaciones una vez se complican o énfasis en una fácil, poca atención a efectos colaterales y de largo plazo, no hay correlación entre el desempeño y pruebas psicológicas de inteligencia y personalidad
Brehmer (1987 y 1990), Brehmer y Allard (1991)	Simulación individual de incendios forestales: ciclos de realimentación, retardos, no linealidades, variación de duración de retardos	Incremento en los retardos tiene efectos negativos en el desempeño
Kleinmuntz y Thomas (1987)	Simulación individual de tareas médicas: ciclos de realimentación, no linealidades, variación de condiciones de riesgo y disponibilidad de información de ayuda	Disponibilidad de información y menor riesgo tienen efectos positivos en el desempeño, utilización de estrategia de deliberar y luego actuar, que resultó en la muerte de alrededor del 30% de los pacientes
Kleinmuntz y Kleinmuntz (1981), Kleinmuntz (1985)	Simulación de reglas de decisión en tareas médicas: reglas basadas en racionalidad perfecta y racionalidad limitada	Desempeño de reglas basadas en racionalidad limitada, ligeramente inferior a las estrategias totalmente racionales

\* Se reportan resultados de reglas de decisión simuladas, mas no de sujetos humanos.

Fuente: elaboración propia a partir de los autores citados.

**4.3.1 Malinterpretación de la realimentación**

Sterman ha presentado algunos de los experimentos pioneros en las DADC en las ciencias de la administración, por medio del desarrollo de la hipótesis de malinterpretación de la realimentación (*misperceptions of feedback*), según la cual las personas no tienen una representación mental apropiada del funcionamiento de sistemas con complejidad dinámica (Moxnes, 1998a; Arango y Moxnes, 2008). Sterman (1989b) diseñó un experimento que simulaba los inventarios de una cadena de suministro con el conocido *juego de la cerveza*.

La cadena consta de cuatro sectores (minorista, mayorista, distribuidor y fábrica) y cada semana simulada los sujetos ordenaban cajas de cervezas para suplir la demanda, a pesar de que la única variable exógena era la demanda de los clientes al minorista, que permaneció invariable durante el experimento. Se observaron oscilaciones significativas en las órdenes con costos en promedio diez veces mayores al óptimo.

Sterman (1987 y 1989a) realizó una serie de experimentos donde los sujetos debían manejar el sector productor de capital de una economía simulada que consideraba la interacción entre un multiplicador y un acelerador,

interacción que ocasionaba un aumento en la demanda como consecuencia de las órdenes de capital de los sujetos, y un retardo en las órdenes de capital. Se observaron oscilaciones significativas en las órdenes con costos en promedio 30 veces mayores al óptimo. Estos trabajos han mostrado consistencia con el uso de una heurística de anclaje y ajuste, consistente con la teoría de la racionalidad limitada.

Experimentos posteriores fueron diseñados incrementando la complejidad dinámica de la tarea con el fin de observar el efecto de la complejidad en el desempeño de los sujetos. Bakken (1993) analizó el desempeño de los sujetos en mercados experimentales, manipulando las condiciones de familiaridad de los mercados y la frecuencia con la cual estos mostraban períodos de inestabilidad. La mayor familiaridad de la tarea tuvo un efecto positivo en el desempeño; sin embargo, en la condición en la cual los mercados presentaban más períodos de inestabilidad se observó un efecto contraintuitivo, porque en dichas condiciones el desempeño fue superior que en aquellas donde se presentaban menos períodos de inestabilidad.

Por otro lado, Paich y Sterman (1993) estudiaron la administración de un nuevo producto variando la fuerza de los ciclos de realimentación que afectan las ventas y el ciclo de vida del producto. El desempeño de los sujetos se deterioró en las condiciones más complejas, incluso cuando se tuvo la oportunidad de aprender de corridas anteriores. Similares resultados fueron encontrados por Diehl y Sterman (1995) ante variaciones sistemáticas en el retardo entre hacer y recibir una orden y la fuerza del ciclo de realimenta-

ción que representaba el efecto multiplicador de la demanda en una tarea de manejo de un inventario.

Otros experimentos, como los de Barlas y Özevin (2004) y Wu y Katok (2006), fueron consistentes con los resultados obtenidos originalmente por Sterman: pobre desempeño de los sujetos respecto al óptimo o a puntos de referencia calculados para su evaluación, insensibilidad a la línea de producción y los retardos, tendencias cíclicas en el comportamiento de los sistemas o heurísticas que explican el comportamiento de los sujetos. Estos resultados respaldan la hipótesis de malinterpretación de la realimentación, así como la teoría de racionalidad limitada.

Kampmann (1992) desarrolló experimentos en mercados experimentales, donde todos los agentes son sujetos humanos, con el fin de estudiar si el impacto negativo de la malinterpretación de la realimentación y la racionalidad limitada se pueden eliminar con diferentes esquemas de fijación de precios. Por cada esquema estudiado se manipuló la complejidad de los mercados diseñando un grupo de mercados con un retardo en la producción y un efecto multiplicador de la demanda y otro grupo sin tales características.

La complejidad del mercado tuvo efectos negativos en el desempeño y este estuvo, en general, significativamente por debajo del óptimo calculado a partir del equilibrio de expectativas racionales. Bajo las condiciones estándar de Huck, Arango (2006a) estudió el comportamiento de los precios de los *commodities* con una aplicación particular a los mercados eléctricos desregulados.

El punto de partida fue un mercado de *telaraña* básico, al que se le agregó complejidad aumentando la vida útil de la capacidad instalada y el retardo en la inversión. El desempeño de los sujetos fue consistente con la teoría de expectativas racionales con un sesgo hacia precios competitivos; sin embargo, los resultados sugieren tendencias cíclicas en la condición del retardo. Posteriormente, y también bajo las condiciones estándar de Huck, Arango (2006b) extendió nuevamente el mercado de *telaraña* básico aumentando aún más la vida útil de la capacidad instalada y el retardo en la inversión.

El desempeño de los sujetos derivó en marcados comportamientos oscilatorios en los precios y mostró tendencias cíclicas más fuertes que Arango (2006a). El comportamiento de los sujetos fue explicado por una heurística de anclaje y ajuste, que sustentó la teoría de racionalidad limitada. El Gráfico 2 muestra algunos de los resultados obtenidos.

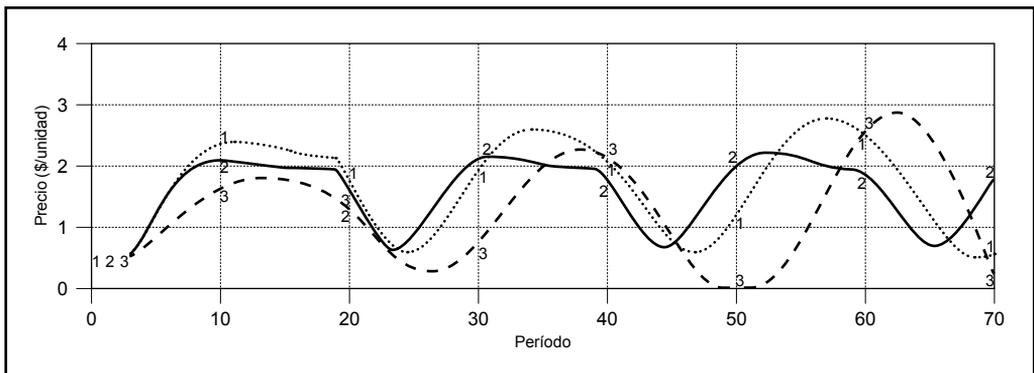
### 4.3.2 Malinterpretación de la bioeconomía

A partir de la hipótesis de malinterpretación de la realimentación, Moxnes (1998a, 1998b y 2000) planteó la hipótesis de malinterpretación de la bioeconomía. En este caso, definimos bioeconomía a sistemas donde coexiste simultáneamente un sistema biológico (por ejemplo, una población de peces, de venados, etc.) con un sistema económico que permita la explotación de dicho sistema (por ejemplo, un sistema de producción de peces, venta de carne de venados, etc.).

Esta aproximación se usó para explicar cómo las personas hacen un mal uso de los recursos bioeconómicos en ambientes con complejidad dinámica mediante experimentos de manejo de pesqueras (Moxnes, 1998a) y de zonas de pastoreo de renos (Moxnes, 1998b y 2000), recursos de bastante tradición en Noruega, país de origen del autor de los estu-

Gráfico 2

**Precios simulados del mercado con el heurístico de anclaje y ajuste con diferentes parámetros: de la literatura (simulaciones líneas 1 y 2) y parámetros obtenidos a partir de los estimados promedios de los resultados experimentales (simulación línea 3)**



Fuente: Arango (2006b).

dios. En el estudio de las pesqueras se debía construir una flota de buques pesqueros que maximizara los beneficios en un horizonte infinito de tiempo y se podía variar la utilización de capacidad de la flota, mientras que en el de las zonas de pastoreo se debía manejar la población de renos y mejorar las condiciones del liquen, el cual había sido agotado drásticamente por un sobrepastoreo previo.

En ambos se observó que los sujetos, incluso los expertos en pesca y pastoreo que participaron, sobreinvertieron y sobreexplotaron los recursos, lo cual muestra consistencia con observaciones históricas. Moxnes (2000) explicó este comportamiento a partir de la malinterpretación de las acumulaciones y flujos y las no linealidades del sistema y halló que los sujetos utilizaron heurísticas intencionalmente racionales para recursos estáticos y que fluyen, mas no para recursos dinámicos y que se acumulan.

En un trabajo posterior, Moxnes (2004) también estudió el manejo de zonas de pastoreo, pero utilizando simuladores más simplificados: uno que sólo involucraba un nivel y dos flujos y otro más que involucraba dos niveles. Incluso en estos casos más simples, los sujetos sobreexplotaron consistentemente los recursos y se observó una mayor sobreexplotación en el simulador más complejo. El desempeño de los sujetos fue comparado con simulaciones de una estrategia óptima y una estrategia simple basada en la heurística de anclaje y ajuste, lo cual mostró que esta última explicaba el comportamiento de los sujetos.

### **4.3.3 Generalización: malinterpretación de la dinámica**

En los trabajos hasta ahora mencionados se consideraron simuladores y mercados con un grado de complejidad que los hace más semejantes a situaciones de la vida real; sin embargo, existen trabajos que han investigado las DADC en tareas con una complejidad dinámica relativamente simple. Por ejemplo, Sweeney y Sterman (2000) evaluaron la comprensión de conceptos básicos del pensamiento sistémico, como la acumulación, ciclos de realimentación y retardos, mediante tres pruebas que describían un problema para el cual los sujetos debían dibujar su comportamiento en el tiempo.

A pesar de la sencillez de los problemas, el desempeño promedio en las tres pruebas fue alrededor del 55%, según los criterios de medición utilizados. Los resultados sugirieron que las personas intuitivamente usan heurísticas atractivas, pero erróneas como el asumir que el resultado de un sistema está positivamente correlacionado con sus entradas, es decir, las personas asumen que el resultado (nivel) debería lucir como la entrada (flujo), heurística denotada como la heurística correlacional o concordancia de patrones.

Ossimitz (2002) y Kainz y Ossimitz (2002) presentaron secuelas del trabajo anterior con algunos problemas que requerían la habilidad de leer e interpretar gráficos, problemas que fueron incluidos para investigar si las fallas encontradas anteriormente se debieron a problemas para distinguir entre niveles y flujos o a problemas en la habilidad de leer e interpretar gráficos. Los resultados fueron igual de

preocupantes, pues mostraron, además, que los pobres resultados no dependieron de si la tarea requería leer o dibujar gráficas o no.

Cronin, González y Sterman (2009) investigaron si las razones más comunes que se citan en la literatura como las causas del pobre desempeño en tareas de las DADC contribuían a las falencias para distinguir entre niveles y flujos. La tarea utilizada para los experimentos fue la tienda de departamento (Sterman, 2002)<sup>9</sup>. Los resultados mostraron que, incluso en las condiciones más favorables, las falencias para distinguir entre niveles y flujos persisten.

En los trabajos hasta ahora mencionados se consideraron tareas genéricas. Sin embargo, algunos autores han trasladado la estructura básica de niveles y flujos a casos de mayor relevancia. Por ejemplo, Sterman y Sweeney (2002) realizaron experimentos para estudiar el entendimiento que tienen las personas de los elementos básicos del cambio climático. Los sujetos, unos con y otros sin gráficas de ayuda, debían identificar la respuesta probable de la temperatura ante un escenario de emisión o concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Se observó que sólo alrededor del 30% de los sujetos se aproximó a la trayectoria correcta de la temperatura y sugirió el uso de la heurística correlacional; sin embargo, los resultados fueron contraintuitivos,

porque las gráficas no mejoran el desempeño de forma sustancial.

Más adelante, Sterman y Sweeney (2007) y Sterman (2008) presentaron a los sujetos dos escenarios para la evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y les pidieron describir la trayectoria de emisiones necesaria para alcanzar los resultados descritos en tales escenarios. Los escenarios fueron diseñados para discriminar entre las predicciones de la heurística correlacional y aquellas basadas en el entendimiento de niveles y flujos. Aunque en el primer escenario el desempeño fue significativamente superior que en el segundo (aunque no necesariamente bueno), los resultados mostraron consistencia con el uso de la heurística correlacional en ambos escenarios.

En un estudio similar, Moxnes y Saysel (2009) crearon una tarea donde los sujetos debían administrar las emisiones globales totales de CO<sub>2</sub> para alcanzar un objetivo dado para la concentración de este gas en la atmósfera. Algunos de los experimentos incluían ayudas para construir un modelo mental de la dinámica de emisión y remoción de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, con el fin de investigar si un posible pobre desempeño de los sujetos se debía a modelos mentales deficientes o a la inhabilidad (o no disposición) de analizar modelos, puesto que los trabajos previos sobre el entendimiento del calentamiento global no distinguieron entre estas causas.

Los resultados mostraron una fuerte tendencia de los sujetos a sobrepasar el objetivo de concentración de CO<sub>2</sub>, pero las ayudas para construir modelos mentales afectaron posi-

<sup>9</sup> En la tienda de departamento los sujetos deben responder una serie de preguntas relacionadas con los flujos de entrada y salida de personas de la tienda en un momento determinado, además de preguntas relacionadas con la cantidad de personas que hay en la tienda en un momento dado, a partir de una gráfica que muestra los flujos de entrada y salida de personas de la tienda.

tivamente el desempeño y se llegó a la conclusión de que los problemas que presentaron los sujetos están fuertemente relacionados con una inhabilidad para formar modelos mentales apropiados para la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. El Cuadro 3 resume los principales hallazgos.

En resumen, desde las ciencias de la administración los resultados experimentales muestran que los sujetos usan heurísticas en el proceso de toma de decisiones, pero que alcanzan un pobre desempeño tanto en situaciones con un alto grado de complejidad como en situaciones que sólo involucran los

Cuadro 3

**Diseño y resultados de experimentos en ciencias de la administración**

Estudio	Diseño	Resultado
<b>Malinterpretación de la realimentación*</b>		
Sterman (1987 y 1989a)	Individuos que experimentan en modelos de simulación (inversión de capital)	Oscilaciones con costos en promedio 30 veces mayores al óptimo, heurística de anclaje y ajuste
Sterman (1989b), Wu y Katok (2006)	Juego de tablero en equipos de 4 personas que simula una cadena de suministro (el juego de la cerveza), manipulación de protocolos de entrenamiento y aprendizaje	Oscilaciones con costos en promedio 10 veces mayores al óptimo; el entrenamiento y aprendizaje no afectan positivamente el desempeño si no hay comunicación entre los sujetos, heurística de anclaje y ajuste
Bakken (1993), Diehl y Sterman (1995), Barlas y Özevin (2004)	Individuos que experimentan en modelos de simulación (administración de inventario), variación de condiciones de complejidad de la tarea	Mayor complejidad de la tarea tiene, en la mayoría de los casos, efectos negativos sobre el desempeño, heurísticas de anclaje y ajuste
Paich y Sterman (1993)	Individuos que experimentan en modelos de simulación (administración de un nuevo producto), variación de condiciones de complejidad de la tarea	Mayor complejidad de la tarea afecta negativamente el desempeño, uso de heurísticas
Kampmann (1992), Arango (2006a y 2006b)	Mercados de <i>commodities</i> en juegos en red, variación de condiciones de complejidad de los mercados	Mercados más complejos afectan negativamente el desempeño, heurísticas de anclaje y ajuste
Moxnes (1998a, 1998b, 2000 y 2004)	Individuos que experimentan en modelos de simulación (administración de recursos renovables), variación de condiciones de complejidad del simulador	Sobreinversión y sobreexplotación de los recursos, mayor complejidad del ambiente afecta negativamente el desempeño, uso de heurísticas
<b>Malinterpretación de la dinámica**</b>		
Sweeney y Sterman (2000)	Entendimiento de dinámica básica utilizando cuestionarios	Dibujo de trayectorias erradas, posible evidencia del uso de la heurística correlacional
Ossimitz (2002) y Kainz y Ossimitz (2002)	Entendimiento de dinámica básica utilizando cuestionarios y problemas que requieren la habilidad de leer e interpretar gráficos y ayudas pedagógicas	Dibujo de trayectorias erradas, problemas en lectura e interpretación de gráficos, las ayudas pedagógicas para la comprensión de la dinámica básica afectan positivamente el desempeño

Continúa

Estudio	Diseño	Resultado
Cronin et al. (2009)	Entendimiento de dinámica básica utilizando cuestionarios, variación de condiciones que, en teoría, deberían afectar positivamente el desempeño	Respuestas incorrectas, las condiciones que deberían afectar positivamente el desempeño tienen poco efecto sobre este, heurística correlacional, respaldo a racionalidad limitada
Sterman y Sweeney (2002 y 2007), Sterman (2008)	Entendimiento de dinámica básica (calentamiento global), variación de disponibilidad de ayudas gráficas	Dibujo de trayectorias erradas, efecto contraintuitivo de las ayudas gráficas, heurística correlacional, respaldo a racionalidad limitada
Moxnes y Saysel (2009)	Entendimiento de dinámica básica (calentamiento global), variación de ayudas pedagógicas para la comprensión del sistema	Sobrepaso de la meta de concentración de CO <sub>2</sub> , las ayudas pedagógicas para la comprensión del sistema afectan positivamente el desempeño

\* Común a todos los experimentos son los ciclos de realimentación, retardos y no linealidades. Además, respaldo general a la racionalidad limitada; \*\* Problemas con estructuras de niveles y flujos básicas.

Fuente: elaboración propia a partir de los autores citados.

conceptos básicos del pensamiento sistémico. Al manipular las condiciones de complejidad para obtener ambientes más complejos y reales, los resultados de esta sección permiten concluir que la complejidad es un factor que afecta negativamente el desempeño en las DADC. Sin embargo, es algo sorprendente el hecho de que el desempeño de las personas haya estado lejos del óptimo en situaciones relativamente sencillas, lo que evidencia la necesidad de crear herramientas como “simuladores de vuelo de administración” para que la gente pueda desarrollar habilidades del pensamiento sistémico (Sterman, 2008).

## Conclusiones

En este trabajo se presentó una revisión de algunos experimentos de laboratorio en las DADC para mirar la intersección entre la economía, la psicología y las ciencias de la administración. La revisión hace hincapié en aspectos de diseño y en los principales resultados obtenidos. La mayoría de trabajos revisados ha mostrado cómo la racionalidad

se degrada con la complejidad dinámica, al compararla con el desempeño óptimo o con puntos de referencia calculados para su evaluación.

Se observa una dificultad cognitiva en la comprensión de la complejidad dinámica de las tareas, al aproximarla a través de heurísticas o reglas de decisión simples que funcionan como atajos mentales para reducir la complejidad de la toma de decisiones. Incluso, el pobre desempeño en las DADC se observa en la toma de decisiones en tareas relativamente sencillas, lo que muestra una malinterpretación de la dinámica básica en una gran variedad de tareas. Estos resultados son bastante llamativos, puesto que señalan que aun en situaciones con una complejidad dinámica básica, donde es relativamente fácil llegar a soluciones óptimas, los sujetos también recurren a las heurísticas.

En ambientes dinámicos y complejos, la teoría de racionalidad limitada en la forma de heurísticas que involucran dinámica explica

mejor las decisiones (v. g., Sterman, 1989a y 1989b; Kampmann, 1992; Bakken, 1993; Paich y Sterman, 1993; Diehl y Sterman, 1995; Moxnes, 1998a, 2000 y 2004; Barlas y Özevin, 2004; Arango, 2006b; Sterman y Sweeney, 2007; Cronin et al., 2009). Esto no es necesariamente sorprendente, pues es sabido que la racionalidad de las personas se ve limitada dentro de ciertos contextos (Conlisk, 1996; Größler, Milling y Winch, 2004), en especial en situaciones complejas, donde el comportamiento puede estar gobernado por leyes diferentes que aquellas utilizadas en sistemas simples (Plott, 1982; Gigerenzer, 2004). Estos resultados no deben malinterpretarse, en el sentido de que las personas toman decisiones irracionales, puesto que en general las personas intentan ser racionales (March, 1994) o buscan soluciones satisfactorias (Simon, 1955).

Los resultados experimentales muestran que los sujetos tienden a pasar por alto o a subvalorar los retardos, así como a malinterpretar las relaciones entre las acumulaciones y los flujos. Los sujetos frecuentemente carecen de sensibilidad a las no linealidades que pueden afectar la fuerza o intensidad de diferentes ciclos de realimentación a medida que el sistema evoluciona (Moxnes, 2000).

La literatura indica que las personas tienen modelos mentales pobres y una limitada capacidad cognitiva para inferir el comportamiento de los sistemas a medida que aumenta su complejidad (Kampmann, 1992; Paich y Sterman, 1993; Diehl y Sterman, 1995; Barlas y Özevin, 2004; Moxnes, 2004; Arango, 2006a). Esta afirmación incluso se podría

generalizar para situaciones relativamente sencillas (v. g., Sterman y Sweeney, 2007; Cronin et al., 2009).

En este estudio se dejan de lado estudios como los experimentos de cooperación (v. g., Cárdenas, 2000; Cárdenas y Ostrom, 2004). Sin embargo, en general, se observa que los resultados experimentales muestran que la complejidad dinámica requiere aún una mejor comprensión, pues cada experimento evidencia la necesidad de más experimentos. Varios de los trabajos revisados fueron motivados por trabajos anteriores para explorar cómo los aspectos no tenidos en cuenta en trabajos previos podrían afectar el desempeño en la toma de decisiones.

En este sentido, los experimentos de laboratorio han mostrado ser de gran utilidad, puesto que han permitido, a través de una gran variedad de diseños, investigar los efectos de tales aspectos. La experimentación en la toma de decisiones también se presenta como una herramienta de investigación tanto para la generación de teorías como para el desarrollo de conocimiento aplicado a diferentes situaciones con complejidad dinámica.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación Medellín y a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo económico para llevar a cabo esta investigación. Así mismo, a los dos revisores anónimos, cuyos comentarios permitieron mejorar la calidad del artículo.

## Lista de referencias

- Arango, S. (2006a). *Cyclical behaviour, a function of market complexity? Expanding the cobweb experiment: Essays on commodity cycles based on expanded cobweb experiments of electricity markets*. PhD Thesis no publicada, University of Bergen, Social Science Faculty. Bergen, Norway.
- (2006b). *Cyclical behaviour in electricity markets: An experimental study. Essays on commodity cycles based on expanded cobweb experiments of electricity markets*. PhD Thesis no publicada, University of Bergen, Social Science Faculty. Bergen, Norway.
- y Moxnes, E. (2008). Experimentos de laboratorio en dinámica de sistemas. En I. Dyner y L. Rodríguez (Eds.), *Dinámica de sistemas: casos y aplicaciones en Latinoamérica* (pp. 100-124). Talca: Capitulo Latinoamericano de la Sociedad de Dinámica de Sistemas.
- Bakken, B. E. (1993). *Learning and transfer of understanding in dynamic decision environments*. PhD Thesis no publicada, Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management. Cambridge, MA, Estados Unidos.
- Barlas, Y. and Özevin, M. G. (2004). Analysis of stock management gaming experiments and alternative ordering formulations. *Systems Research and Behavioral Science*, 21 (4), 439-470.
- Brehmer, B. (1987). Development of mental models for decision in technological systems. En K. Duncan, J. Leplat y J. Rasmussen (Eds.), *New technology and human error* (pp. 111-120). Chichester: Wiley.
- Brehmer, B. (1990). Strategies in real-time, dynamic decision making. En R. Hogarth (Ed.), *Insights in decision making* (pp. 262-279). Chicago, IL: University of Chicago Press.
- (1992). Dynamic decision making: human control of complex systems. *Acta Psychologica*, 81 (3), 211-241.
- and Allard, R. (1991). Real-time dynamic decision making: effects of task complexity and feedback delays. En B. Brehmer, J. Leplat y J. Rasmussen (Eds.), *Distributed decision making: Cognitive models for cooperative work* (pp. 319-347). Chichester: Wiley.
- Brehmer, B. and Dörner, D. (1993). Experiments with computer-simulated microworlds: escaping both the narrow straits of the laboratory and the deep blue sea of the field study. *Computers in Human Behavior*, 9 (2-3), 171-184.
- Brown, P. M. (1996). Experimental evidence on money as a medium of exchange. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 20 (4), 583-600.
- Cárdenas, J. C. (2000). How do groups solve local commons dilemmas? Lessons from experimental economics in the field. *Environment, Development and Sustainability*, 2 (3-4), 305-332.
- and Ostrom, E. (2004). What do people bring into the game: experiments in the field about cooperation in the commons. *Agricultural Systems*, 82 (3), 307-326.
- Carlson, J. A. (1967). The stability of an experimental market with a supply-response lag. *Southern Economic Journal*, 33 (3), 305-321.

- Conlisk, J. (1996). Why bounded rationality? *Journal of Economic Literature*, 34 (2), 669-700.
- Cournot, A. (1838). *Reserches sur les principes mathematiques de la theorie des richesses* (Research into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth). Paris: Hachette.
- Cronin, M. A., González, C. and Sterman, J. D. (2009). Why don't well-educated adults understand accumulation? a challenge to researchers, educators, and citizens. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 108 (1), 116-130.
- Diehl, E. and Sterman, J. D. (1995). Effects of feedback complexity on dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 62 (2), 198-215.
- Dijksterhuis, A., Bos, M. W., Nordgren, L. F. and van Baaren, R. B. (2006). On making the right choice: the deliberation-without-attention effect. *Science*, 311 (5763), 1005-1007.
- Dörner, D. (1980). On the difficulties people have in dealing with complexity. *Simulations & Games*, 11 (1), 87-106.
- , Kreuzig, H., Reither, F. and Stäudel, T. (1983). *Lohhausen – vom umgang mit unbestimmtheit und komplexität* (Lohhausen – on dealing with uncertainty and complexity). Bern: Hans Huber.
- Dörner, D., Nixon, P. and Rosen, S. D. (1990). The logic of failure. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 327 (1241), 463-473.
- Dörner, D., Stäudel, T. and Strohschneider, S. (1986). *Moro-programmdokumentation* (Moro-program documentation). Bamberg: University of Bamberg.
- Duffy, J. and Ochs, J. (1999). Emergence of money as a medium of exchange: An experimental study. *The American Economic Review*, 89 (4), 847-877.
- Edwards, W. (1962). Dynamic decision theory and probabilistic information processing. *Human Factors*, 4 (2), 59-73.
- Ezekiel, M. (1938). The cobweb theorem. *The Quarterly Journal of Economics*, 52 (2), 255-280.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: a review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25 (2), 383-417.
- Foss, N. J. (2003). Bounded rationality in the economics of organization: "Much cited and little used". *Journal of Economic Psychology*, 24 (2), 245-264.
- Friedman, D. and Cassar, A. (2004). *Economics lab: An intensive course in experimental economics*. London: Routledge.
- Friedman, D. and Sunder, S. (1994). *Experimental methods: A primer for economists*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Funke, J. (1991). Solving complex problems: Exploration and control of complex systems. En P. A. Frensch y R. J. Sternberg (Eds.), *Complex problem solving: principles and mechanisms* (pp. 185-222). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Gigerenzer, G. (2004). Fast and frugal heuristics: the tools of bounded rationality. En D. Koehler and N. Harvey (Eds.), *Blackwell handbook of judgment and decision making* (pp. 62-88). Oxford: Blackwell.
- González, C., Martin, M. K. and Vanyukov, P. (2005). The use of microworlds to study dynamic decision making. *Computers in Human Behavior*, 21 (2), 273-286.
- Größler, A., Milling, P. M. and Winch, G. (2004). Perspectives on rationality in system dynamics: A workshop report and open research questions. *System Dynamics Review*, 20 (1), 75-87.
- Holt, C. A. and Villamil, A. P. (1986). A laboratory experiment with a single-person cobweb. *Atlantic Economic Journal*, 14 (2), 51-54.
- Hubbard, D. (2009). *The failure of risk management: why it's broken and how to fix it*. Chichester: Wiley.
- Huck, S. (2004). Oligopoly. En D. Friedman and A. Cassar (Eds.), *Economics lab: an intensive course in experimental economics* (pp. 105-114). London: Routledge.
- , Normann, H. and Oechssler, J. (2002). *Stability of the Cournot process: experimental evidence*. Bonn: Bonn Graduate School of Economics.
- (2004). Two are few and four are many: number effects in experimental oligopolies. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 53 (4), 435-446.
- Kahneman, D. (2003). Maps of bounded rationality: psychology for behavioral economics. *The American Economic Review*, 93 (5), 1449-1475.
- Kahneman, D. and Tversky, A. (1979). Prospect theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47 (2), 263-291.
- Kainz, D. and Ossimitz, G. (2002). *Can Students Learn Stock-Flow-Thinking? An Empirical Investigation*. Documento presentado en The 20th International Conference of the System Dynamics Society, Palermo, Italy.
- Kampmann, C. P. E. (1992). *Feedback complexity and market adjustment: an experimental approach*. PhD Thesis no publicada. Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management. Cambridge, MA, Estados Unidos.
- Kiyotaki, N. and Wright, R. (1989). On money as a medium of exchange. *Journal of Political Economy*, 97 (4), 927-954.
- Kleinmuntz, D. N. (1985). Cognitive heuristics and feedback in a dynamic decision environment. *Management Science*, 31 (6), 680-702.
- (1993). Information processing and misperceptions of the implications of feedback in dynamic decision making. *System Dynamics Review*, 9 (3), 223-237.
- and Kleinmuntz, B. (1981). Decision strategies in simulated environments. *Behavioral Science*, 26 (3), 294-305.
- Kleinmuntz, D. N. and Thomas, J. B. (1987). The value of action and inference in dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 39 (3), 341-364.

- Lei, V., Noussair, C. N. and Plott, C. R. (2001). Non-speculative bubbles in experimental asset markets: lack of common knowledge of rationality vs. actual irrationality. *Econometrica*, 69 (4), 831-859.
- Loomes, G. and Sugden, R. (1982). An alternative theory of rational choice under uncertainty. *The Economic Journal*, 92 (368), 805-824.
- (1987). Some implications of a more general form of regret theory. *Journal of Economic Theory*, 41 (2), 270-287.
- Loewenstein, G. (1999). Experimental economics from the vantage-point of behavioural economics. *The Economic Journal*, 109 (453), Features, F25-F34.
- Lucas, R. E. (1981). *Studies in Business-Cycle Theory*. Cambridge, MA: MIT Press.
- March, J. G. (1994). *A primer on decision making: how decisions happen*. New York, NY: Free Press.
- Miller, R. M., Plott, C. R. and Smith, V. L. (1977). Intertemporal competitive equilibrium: an empirical study of speculation. *The Quarterly Journal of Economics*, 91 (4), 599-624.
- Moxnes, E. (1998a). Not only the tragedy of the commons: misperceptions of bioeconomics. *Management Science*, 44 (9), 1234-1248.
- (1998b). Overexploitation of renewable resources: the role of misperceptions. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 37 (1), 107-127.
- Moxnes, E. (2000). Not only the tragedy of the commons: misperceptions of feedback and policies for sustainable development. *System Dynamics Review*, 16 (4), 325-348.
- (2004). Misperceptions of basic dynamics: the case of renewable resource management. *System Dynamics Review*, 20 (2), 139-162.
- and Saisel, A. K. (2008). Misperceptions of global climate change: information policies. *Climate Change*, 93 (1-2), 15-37.
- Muth, J. F. (1961). Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica*, 29 (3), 315-335.
- Noussair, C. N. and Plott, C. R. (2008). Bubbles and crashes in experimental asset markets: common knowledge failure? En C. R. Plott y V. L. Smith (Eds.), *Handbook of experimental economics results* (pp. 260-263). Amsterdam: North Holland.
- Ossimitz, G. (2002). *Stock-flow-thinking and reading stock-flow-related graphs: an empirical investigation in dynamic thinking abilities*. Documento presentado en The 20th International Conference of the System Dynamics Society, Palermo, Italy.
- Paich, M. and Sterman, J. D. (1993). Boom, bust, and failures to learn in experimental markets. *Management Science*, 39 (12), 1439-1458.
- Plott, C. R. (1982). Industrial organization theory and experimental economics. *Journal of Economic Literature*, 20 (4), 1485-1527.
- and Smith, V. L. (2008). *The handbook of experimental economics results*. Amsterdam: North Holland.

- Rassenti, S., Reynolds, S., Smith, V. L. and Szidavrovsky, F. (2000). Adaptation and convergence of behavior in repeated experimental cournot games. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 41 (2), 117-146.
- Roth, A. E. (1983). Toward a theory of bargaining: an experimental study in economics. *Science*, 220 (4598), 687-691.
- and Schourmaker, F. (1983). Expectations and reputations in bargaining: An experimental study. *The American Economic Review*, 73 (3), 362-372.
- Rouwette, E. A. J. A., Größler, A. and Vennix, J. A. M. (2004). Exploring influencing factors on rationality: a literature review of dynamic decision-making studies in system dynamics. *Systems Research and Behavioral Science*, 21 (4), 351-370.
- Samuelson, L. (2005). Economic theory and experimental economics. *Journal of Economic Literature*, 43 (1), 65-107.
- Schaub, H. and Strohschneider, S. (1989). *Die rolle heuristischen wissens beim umgang mit einem komplexen system – oder – sind manager bessere manager?* (The role of heuristic knowledge in dealing with a complex system – or – are managers better managers?). Bamberg: University of Bamberg.
- Shubik, M. (1988). *Game theory and experimental gaming*. New Haven, CT: Cowles Foundation for Research in Economics at Yale University.
- Siegel, S. and Fouraker, L. E. (1960). *Bargaining and group decision making: experiments in bilateral monopoly*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69 (1), 99-118.
- (1979). Rational decision making in business organizations. *The American Economic Review*, 69 (4), 493-513.
- Smith, V. L. (1976). Experimental economics: Induced value theory. *The American Economic Review*, 66 (2), 274-279.
- (1982). Microeconomic systems as an experimental science. *The American Economic Review*, 72 (5), 923-955.
- , Suchanek, G. L. and Williams, A. W. (1988). Bubbles, crashes, and endogenous expectations in experimental spot asset markets. *Econometrica*, 56 (5), 1119-1151.
- Sonnemans, J., Hommes, C., Tuinstra, J. and van de Velden, H. (2004). The instability of a heterogeneous cobweb economy: a strategy experiment on expectation formation. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 54 (4), 453-481.
- Stäudel, T. (1987). *Problemlösen, emotionen und kompetenz: die überprüfung eines integrativen konstrukts* (Problem solving, emotions and competence: the evaluation of an integrative construct). Regensburg: Roderer.
- Sterman, J. D. (1987). Testing behavioral simulation models by direct experiment. *Management Science*, 33 (12), 1572-1592.
- (1989a). Misperceptions of feedback in dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 43 (3), 301-335.

- Sterman, J. D. (1989b). Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, 35 (3), 321-339.
- (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Boston, MA: Irwin McGraw-Hill.
- (2002). All models are wrong: Reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*, 18 (4), 501-531.
- (2008). Risk communication on climate: Mental models and mass balance. *Science*, 322 (5901), 532-533.
- and Sweeney, L. B. (2002). Cloudy skies: Assessing public understanding of global warming. *System Dynamics Review*, 18 (2), 207-240.
- (2007). Understanding public complacency about climate change: Adults' mental models of climate change violate conservation of matter. *Climatic Change*, 80 (3-4), 213-238.
- Sweeney, L. B. and Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: Initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16 (4), 249-286.
- Sutan, A. and Willinger, M. (2004). *Coordination in cobweb experiments with(out) elicited beliefs*. Montpellier: Laboratoire Montpelliérain d'Economie Théorique et Appliquée (Montpellier Laboratory of Theoretical and Applied Economics).
- Tversky, A. and Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185 (4157), 1124-1131.
- (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5 (4), 297-323.
- Wu, D. Y. and Katok, E. (2006). Learning, communication, and the bullwhip effect. *Journal of Operations Management*, 24 (6), 839-850.

