

# El sueño de Isaac Asimov o ¿son matematizables las ciencias de lo humano?

José Luis Gutiérrez Sánchez\*

## 4

*A partir de una serie de novelas utópicas de Isaac Asimov, se discuten las posibilidades de representar matemáticamente la realidad social. Se aborda, primero, la cuestión de qué es la matemática y qué significa matematizar. Se parte de la crítica al mecanicismo reduccionista, enfoque hegemónico en el pensamiento científico hasta nuestros días, que habría provocado varios intentos fallidos de uso de la matemática en las ciencias sociales y, finalmente, se presentan diversos avances de matematización en lingüística, antropología cultural e historia.*

### **Amable lectora, atento lector:**

Quiero manifestarte mi propósito. Este es un ensayo sobre la relación de la matemática con las ciencias o las disciplinas que estudian los procesos sociales humanos; en particular, me refiero a la que se ha ido construyendo o es posible edificar entre aquella y algunas corrientes de la historia,

\* Profesor de matemáticas en la Universidad Autónoma Chapingo y en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México

la antropología y la lingüística;<sup>1</sup> he corrido el riesgo de la dispersión temática al elegir las porque son ejemplos de distintos grados de empatía con los métodos matemáticos, desde lo incipiente, en el caso de la primera, hasta lo maduro en el de la última.

He querido hacerlo por la lejanía, real o imaginaria, entre matemática y ciencias sociales y humanidades, para contribuir a tender una red de vasos comunicantes entre ambas. No es que no los haya habido: los filósofos de la Antigua Grecia consideraban a la matemática como un camino que debía recorrerse si se quería acceder a la Verdad, el Bien y la Belleza; su estudio era una iniciación para conocer el Plan de Dios; según Platón,<sup>2</sup> "... la geometría atraerá al alma hacia la verdad y creará el espíritu de la filosofía".

Pero, desde aquellos lejanos tiempos, los canales se azolvieron y los puentes se vinieron abajo porque, durante siglos, la matemática se utilizó para estudiar temas en cierto sentido más simples; de manera que no era posible extender sus usos a las ciencias sociales sino bajo condiciones de idealización extrema o, peor aún, errónea, debido al estrecho mecanicismo reduccionista que dominaba el pensamiento científico.

Quiero ver a la matemática como un método de investigación y no como una colección de técnica;<sup>3</sup> método que trata de representar la realidad y dejarla a disposición para reflexionar en ella; un método poderoso que permite plantear conjeturas en un lenguaje claro y preciso, deducir consecuencias de tales conjeturas y confrontarlas con lo que ocurre para refutar o no nuestras hipótesis y, sobre todo, iluminar o descubrir aspectos de la realidad que estaban ocultos o eran confusos. Y es mi intención hacer notar que esta guía para interrogar a la naturaleza, puede aplicarse exitosamente al estudio de fenómenos y procesos sociales humanos.

No aspiro a la concisión y solidez de un artículo científico, pero la base de mis opiniones puede encontrarse en las referencias que doy al final. Trato de divulgar lo

<sup>1</sup> Aunque la relación alcanza ya a la psicología, la sociología, la economía, la ciencia política, la semiótica y la teoría del conocimiento, entre otras. El lector interesado puede ver "Complex Systems and the Evolution of Human Society", en *Thinking in Complexity* de Klaus Mainzer (pp. 237-288) o la antología de Gabriel Altmann y Walter A. Koch. *Systems. New Paradigms for the Human Sciences*.

<sup>2</sup> Citado por Morris Kline, en *Mathematics in Western Culture* (p. 33).

<sup>3</sup> Ésta es la caracterización más pobre: creer que la matemática es un conjunto de técnicas es equivalente a creer que el arte de la pintura se agota en las recetas para revolver colores primarios o que la música son sólo las reglas de la armonía.

que pienso -de explicar mis esperanzas-, y mi intención puede calificarse acertadamente de impresionista. Por ello, queridos lectores y lectoras, no se extrañen por el tono abiertamente personal, tal vez hasta emotivo, en que va escrito.

En lo posible, rehuyo los tecnicismos porque pretendo acceder al mayor número de lectores, tanto a los estudiosos de las llamadas (con arrogancia petulante) "ciencias duras" como a los científicos sociales y humanistas. Además, he prefendo el desenfado a la precisión porque estoy convencido de que no hace falta ser solemne para comunicar algo interesante y, también por eso, he querido urdir la madeja de mi ensayo en la trama de un sueño literario: el de que los hombres y las mujeres seremos capaces, algún día, de comprender las fuerzas que gobiernan nuestras vidas para poder predecir, no en qué orden ni cómo van a ocurrir detalladamente los acontecimientos históricos -que es algo esencialmente imposible-, sino lo que pasará si las sociedades eligen un camino y no otro.

El sueño de Isaac Asimov<sup>4</sup> es esto: la utopía de que el conocimiento es uno solo y que su unidad tiene como base el empleo, común a toda la ciencia, del método inquisitivo matemático, inagotable e infinito, preñado de posibilidades aún por descubrir. No es un deseo novedoso, se encuentra ya en la cuna de la cultura occidental: según Morris Kline,<sup>5</sup> los filósofos griegos postulaban que

...la matemática es un paradigma para todas las ciencias. En particular, Aristóteles sostenía categóricamente que toda ciencia debe consistir en la demostración deductiva de verdades o hechos a partir de unos cuantos principios fundamentales -establecidos de acuerdo con la ciencia que se trate- que jueguen el papel de los axiomas en la geometría euclidiana. El mejor compendio de tan alta consideración por ía matemática es el frecuentemente repetido lema de la Academia de Platón: 'Nadie entre aquí que no sepa geometría.'

A mi juicio, esta utopía ha empezado a hacerse realidad como se hicieron tantas otras en este siglo moribundo. Este ensayo trata de eso. Del material de los sueños, dice

<sup>4</sup> Isaac Asimov (1920-1992) nació en Petrovichi, Russia. Su familia emigró a Estados Unidos y se instaló en Nueva York cuando él tenía tres años.

<sup>5</sup> Cf. Morris Kline. *Op. cit.*, p. 54.

Shakespeare, estamos hechos los seres humanos, ¿por qué no habríamos entonces de recurrir a los sueños para explicarnos un poco lo que hacemos?

## 1. Sueño y ficción, Historia y matemáticas

Quien las haya leído tiene, seguramente, un grato recuerdo de tres novelas de Isaac Asimov: *Fundación*, *Fundación e Imperio* y *Segunda Fundación*.<sup>6</sup> Trilogía épica, si la hay en la literatura de ficción científica, narra la historia de un vasto dominio estelar ubicado temporalmente en el futuro lejano, cuando el recuerdo de la humanidad casi se ha perdido: el Imperio Galáctico, cuya capital y sede original es el planeta *Trantor*.

Llevados de la mano por la prosa del escritor neoyorquino, abordamos las naves espaciales que transportan mercancías y pasajeros entre decenas de mundos maravillosos y, azorados, vemos cómo, bajo las ruedas del comercio, nace una civilización y se construye la grandeza de una inmensa federación planetaria; *Trantor* es magnífica, la bonanza de sus ciudades da la impresión de ser inexpugnable y eterna pero al Imperio lo devora la corrupción y la decadencia parece fatalmente asociada a la abundancia.

La paz trantoriana es incompleta: pueblos de la frontera, conducidos por ambiciosos señores de la guerra, se resisten a la influencia de la metrópoli; menos civilizados pero más decididos, esos pueblos derrotarán militarmente a la armada del Imperio y la caída será tan estrepitosa que, al esplendor de 12 mil años, seguirá la Edad Oscura, una larguísima era de barbarie e ignorancia.

Abandonar la lectura de la *Trilogía* es imposible,<sup>7</sup> la energía narrativa de su autor no lo permite; pero más allá del interés literario y anecdótico, importa la concepción

<sup>6</sup> Compuesta de narraciones más o menos independientes, publicadas como cuentos antes de ser publicadas en libro (1951-1953), se le conoce también como *Trilogía de la Fundación*, aunque dio lugar a una secuela, ya en los ochenta, de dos volúmenes más.

<sup>7</sup> Asimov es un maestro del suspenso: con gracia y buen sentido echa mano de recursos narrativos tan corrientes en la literatura popular anglosajona como el drama judicial, el espionaje teñido de romance o las batallas espectaculares; ronda pero nunca cae en esa especie sublitérica conocida como *space opera* (dícese del género de ficción fallidamente científica que narra una „aventura ñoña en un ambiente futurista; comparable, por su banalidad, con una telenovela o *soap opera*).

asimoviana sobre lo que podrían llamarse las "constantes de la historia" y las posibilidades de *calcular* el devenir social.

Dicen los que conocen la historia del Mediterráneo que el hilo narrativo de la *Trilogía* sigue, paso a paso, el desarrollo del Imperio Romano: un pueblo de austeros campesinos y comerciantes establece la Ciudad Eterna en las siete colinas del Lazio, sigue la edad dorada de la República y el esplendor del Imperio, pero irrumpen los bárbaros y la catástrofe militar y el desmembramiento dan lugar los mil años de Edad Media con un faro pálido y vacilante de cultura románica en Bizancio.

Esto no es sólo un recurso literario para darle verosimilitud a la trama a fuerza de recrear algo ocurrido realmente: no, es mucho más que eso. Desde el primer capítulo de *Fundación*, Asimov postula una teoría de la historia y toma posición en este debate: la historia de la humanidad ¿es contingente o sigue pautas?, ¿es esencialmente azarosa o hay fuerzas que la determinan del mismo modo en que el estado de un mecanismo está determinado por las fuerzas que lo mueven?, ¿es tan ininteligible que debemos contentarnos con narrarla como una larga cadena de casualidades, como un extenso inventario de acontecimientos o, por el contrario, su dinámica obedece a restricciones que le imponen una estructura única?

La respuesta de Asimov,<sup>8</sup> inteligente y visionaria, es que si bien no es posible calcular *el estado* (un estado unívocamente determinado) del futuro de una sociedad humana, sí lo es comprender su historia, encontrar en ella estructuras e invariantes y hasta leyes, como las de la mecánica celeste; de manera que si bien los sucesos no pueden predecirse como en los casos de un eclipse o la aparición de un cometa, es posible prever sus tendencias y explicar cómo han de ocurrir con base en principios generales relativamente sencillos pero poderosos.

La *Trilogía* es una epopeya en la que los protagonistas son sabios. En *Trantor*, las diferencias entre las ciencias de lo humano y las de la naturaleza ya no existen: decir científico es decir humanista y al revés. La ciencia guía es la *psicohistoria*, una matemática del comportamiento colectivo de grandes conglomerados de seres humanos ante los cambios sociales y económicos; un instrumento construido a semejanza

<sup>8</sup> Véase una versión contemporánea de este tipo de pensamiento en los ensayos de Pedro y Octavio Miramontes: "El estructuralismo dinámico" y "Los sistemas complejos como instrumentos de conocimiento y transformación del mundo", respectivamente.

de las grandes teorías de la física de nuestros días, con teoremas demostrables a partir de postulados básicos, es decir, una matemática de la historia.

La federación había prosperado durante milenios; sin embargo, ante los primeros signos de descomposición social, los *psicohistoriadores* descubren que son inevitables tanto la caída del Imperio como la milenaria oscuridad que ha de seguirla. Nadie sabe exactamente cómo ni cuándo pero, en términos de la larga duración, eso no importa. La única posibilidad de que la noche sea más breve está en conservar la sabiduría.

Gracias a la previsión de su élite intelectual, la esperanza de salvar la cultura de *Trantor*, y reducir al mínimo la Edad Oscura, sobrevive en un par de bases secretas: la *Fundación* y la *Segunda Fundación*; ahí, sabios de todos los confines del Imperio trabajarán a marchas forzadas en la *Enciclopedia Galáctica*, suma del conocimiento de su tiempo y lograrán que el lapso entre el fin del Primer Imperio y el nacimiento del Segundo se extienda no los 30 mil años previstos de otro modo, sino sólo mil. .

Hasta ahora, aun en dominios del conocimiento ubicado dentro de las ciencias naturales como la biología, se considera vana la pretensión de construir tal tipo de teoría. Entre otras razones, pero sobre todo, porque se parte de la creencia de que es imposible -con herramientas deterministas- lidiar con el azar, que siempre está presente y cuya influencia no puede desdeñarse.

Además, cuando se estudian procesos en los que los sujetos son seres vivos o personas inmersos en una intrincada red de relaciones múltiples con el medio y, sobre todo, con otros organismos u otros seres humanos, las dificultades son mucho mayores que las de la física o la química (dominios del conocimiento en donde la matemática ha dado sus mejores frutos), porque no es posible la verificación experimental ni es lo mismo que trabajar con átomos, moléculas o, cuando mucho, células.

Por esto, se tiende a considerar que la intención de abordar el estudio de lo social humano con herramientas matemáticas es un buen deseo, una aspiración legítima pero inalcanzable, un sueño: precisamente *el sueño de la psicohistoria, el sueño de Isaac Asimov*.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> El gentil amigo que me invitó a escribir este ensayo, estadístico acostumbrado a abordar lo contingente con las capacidades de su disciplina, al enterarse de la naturaleza del *sueño*, escéptico, sólo dijo: "Se me hace que más que *sueño era pasón*."

## 2. Pero ¿qué significa matematizar?

Invito al lector a considerar primero esta pregunta: ¿qué es la matemática?<sup>10</sup> En la imaginación del hombre de la calle y aun de muchos estudiosos, científicos, técnicos y humanistas que la usan en diversos grados, la matemática es "la ciencia de las cantidades y los números"; nada que sea impreciso o admita sólo descripciones cualitativas cae en sus dominios porque, siempre según el lugar común, la matemática es una disciplina precisa: "Como que dos y dos son cuatro", suele decirse.

Sin embargo, esta descripción sólo podría aplicarse exactamente a los estadios iniciales de esta ciencia, hasta el siglo V a. de C, en Egipto y Babilonia, cuando estaba constituida por una serie de recetas para medir, contar y "hacer cuentas". Los griegos la tomaron en sus manos y la liberaron de sus ataduras pragmáticas, de la agrimensura y el comercio, de la geodesia y la elaboración de calendarios y efemérides.

En un lapso relativamente breve (entre los siglos VI y III a. de C), las escuelas de Tales en Mileto, Pitágoras en Crotona, la Academia de Platón y el Liceo de Aristóteles en Atenas, le dieron a la matemática características que tiene hasta nuestros días: tratar los conceptos como abstracciones desvinculadas de sus referentes físicos y usar sistemática y exclusivamente el razonamiento deductivo para demostrar teoremas. Afirma Kline<sup>11</sup>

El trabajo de muchas escuelas y de individuos aislados que vivían por toda el área del Mediterráneo, desde Asia Menor hasta Sicilia y el Sur de Italia, fue unificado por Euclides en un libro magistral llamado *Los Elementos*. Este famoso compendio, escrito aproximadamente en el año 300 a. de C, constituye tanto la historia de la matemática de una era como la presentación lógica de la geometría. A partir de unos cuantos axiomas sagazmente elegidos, Euclides dedujo todos los resultados importantes de los maestros griegos del periodo clásico; algo así como quinientos teoremas. Los axiomas, el orden, la forma de presentarlos y la complementación de tópicos parcialmente desarrollados eran suyos.

<sup>10</sup> Sigo aquí la discusión de Keith Devlin en *Mathematics, the Science of Patterns*, con quien comparto el entusiasmo y la visión así se nos pueda etiquetar de platónicos. ¿Hay acaso matemáticos que no lo sean?

<sup>11</sup> Cf. Morris Kline. *Op. cit.*, p. 42.

Así que cuando la geometría euclidiana se convirtió en modelo de formalización abstracta, hacía tres siglos que la matemática había dejado de ser solamente una colección de recetas para operar con números y figuras. Luego, cuando los árabes inventaron el álgebra -posiblemente en el siglo XIV de nuestra era- le dieron una nueva dimensión y acabaron de convertirla en uno de los instrumentos más poderosos del ser humano para comprender su mundo. En palabras de un humorista estadounidense:<sup>12</sup>

... una forma de clasificar la inteligencia de una persona es ubicándola como mente aritmética o algebraica. Todo el conocimiento económico y práctico es una extensión de la fórmula aritmética:  $2 + 2 = 4$ . Cualquier proposición filosófica tiene el carácter más general de la expresión  $a + b = c$ . Mientras no aprendemos a pensar en literales en lugar de cifras, no dejaremos de ser sólo operativos, empíricos y egotistas.

De manera que la pobre definición de la matemática como estudio de cantidades y números dejó de ser cierta hace más de dos mil quinientos años. De hecho, la respuesta a ¿qué es la matemática? ha cambiado con el correr de los siglos.

No obstante, puede sostenerse que si hay un elemento común en la matemática desde los griegos hasta nuestros días, es su *búsqueda de lo genérico, de las regularidades que presentan sus objetos de estudio*. En todas sus prolíficas ramificaciones, lo que se hace es *examinar y abstraer patrones*: se reconocen pautas de razonamiento y comunicación, se identifican patrones numéricos, de simetría y forma, se buscan regularidades en el cambio, el movimiento, la conducta, etcétera. Devlin<sup>13</sup> lo dice así:

La matemática, ciencia de patrones [pautas o arquetipos], es una forma de concebir el mundo [una *Weltanschauung*, dirían Schelling o Hegel]: lo mismo el mundo físico, biológico y sociológico en el que vivimos que el mundo interior de nuestra mente y nuestro pensamiento. Los mayores éxitos de la matemática se han dado, sin duda, en el dominio de lo físico... pero, como creatura enteramente humana, el estudio de la matemática es, en última instancia, un estudio de la humanidad misma.

<sup>12</sup> Oliver Wendell Holmes (1809-1894), citado por Afian Clark en *Elements of Abstract Algebra* (p. iii).

<sup>13</sup> Keith Kevlin. *Op. cit.*, p. 6. En las citas, los comentarios entre corchetes son míos (JLG).

Matematizar una disciplina es, entonces, penetrar los objetos de estudio con las herramientas para el pensamiento que nos da la matemática, es buscar en ellos lo esencial y acotar lo contingente, es aprender a reconocer las relaciones estructurales o dinámicas entre sus diversos elementos para deducir lo que no es evidente.

Devlin recuerda la afirmación de Galileo, en los albores de la fisicamatemática fundada por él: "El gran libro de la naturaleza sólo puede ser leído por aquéllos que conocen el lenguaje en que fue escrito. Y este lenguaje es la matemática;" y cita una versión contemporánea de la misma idea:<sup>14</sup> "La matemática es la llave abstracta que abre la cerradura del universo físico," y agrega:

En nuestra época, dominada por el conocimiento, las comunicaciones y la computación, la matemática está encontrando nuevas cerraduras que abrir. Como ciencia de los arquetipos, apenas hay aspectos de nuestras vidas que no se ven afectados en mayor o menor medida por la matemática, porque los arquetipos son la esencia misma del pensamiento, la comunicación, la computación, la sociedad y la vida misma.

Pero ¡cuidado!, si una ciencia se matematiza no quiere decir que adquiera por ello una garantía de "objetividad" ni, mucho menos, que sus teoremas deban tomarse como verdades incontestables: todo depende de la validez de las hipótesis básicas; en cualquier caso, podrán demostrarse consecuencias que son válidas sólo si se cumplen aquéllas; el problema radica en lo que sucede si no se cumplen.<sup>15</sup>

Los ejemplos del mal uso de la herramienta abundan. En otra parte me he referido a esto<sup>16</sup> y más adelante volveré sobre el tema. Por otro lado, la relación entre matemática y verdad es uno de los grandes problemas de la filosofía de la ciencia de nuestros días: a mediados del siglo pasado se descubrió que los axiomas -en particular los de la geometría euclidiana- no son "verdades evidentes en sí mismas" sino

<sup>14</sup> Escrita en 1986 por el físico de Cambridge John Polkinghorne. Cita de K. Devlin. *Op. cit.* (p. 7).

<sup>15</sup> Por ejemplo, revísense las condiciones bajo las cuales es válido el modelo de crecimiento demográfico de Malthus y la discusión que se da en torno a esto en el texto de Gutiérrez Sánchez y Sánchez Garduño, *Matemáticas para las ciencias naturales* (pp. 261-278).

<sup>16</sup> Véase Gutiérrez Sánchez. "Teorías, sistemas y comprensión del mundo" (p. 93).

proposiciones convencionales, y que si alguno de ellos se sustituye por otro es posible deducir teoremas muy diferentes y construir geometrías muy distintas. ¿Cuál es entonces la *verdadera*? Ninguna en términos absolutos; todas, dentro de su sistema de postulados básicos.

Pero no sólo el mito de que haya verdades absolutas en matemáticas es falso y, por consiguiente, que las haya en aquellos campos de la ciencia que se sirven de sus métodos. Uno de los resultados más inquietantes de la lógica del siglo XX,<sup>17</sup> un teorema demostrado en 1931 por el matemático alemán Kurt Gödel (1906-1978), establece que cualquier sistema axiomático, cualquier formalización de una teoría, cualquier lenguaje, lleva en sí mismo una proposición verdadera que es indemostrable dentro del propio sistema. Así, la matemática es siempre incompleta: en palabras de Jorge Volpi:<sup>18</sup>

Por más que uno se esfuerce, por más perfecto que sea el sistema que uno haya creado, siempre existirán dentro de él huecos y vacíos indemostrables, argumentos paradójicos que se comportan como termitas y devoran nuestras certezas. Si la teoría de la relatividad de Einstein y la teoría cuántica de Bohr y sus seguidores se habían encargado de demostrar que la física había dejado de ser una ciencia *exacta* -un compendio de afirmaciones absolutas-, ahora Gödel hacía lo mismo con las matemáticas... Gracias a Gödel, la verdad se tornó más huidiza y caprichosa que nunca.

Aparentemente, las limitaciones de la matemática son grandes: provee verdades relativas, acotadas por la validez de los postulados iniciales y -como una serpiente que se devora a sí misma- ha demostrado que no hay manera de deducir todo lo que es verdadero a partir de cualquier colección de axiomas. Y sin embargo, las ciencias de la naturaleza han crecido matematizándose.

"Pero", podrán pensar el lector o la lectora y torcer el gesto dubitativamente: "¿hasta dónde es posible o deseable matematizar, es decir, buscar lo genérico y acotar lo contingente, si el objeto de estudio es algo tan endemoniadamente complicado como lo que hace, en el sentido más amplio, el ser humano?"

<sup>17</sup> Véase Devlin. *Op. cit.* (pp. 61-64).

<sup>18</sup> Véase Volpi. *En busca de Klingsor* (p. 89).

Desde luego, la duda es legítima: después de todo, si los intentos de los siglos XVIII y XIX por describir todo, incluidos los procesos sociales, como mecanismos similares a los de un reloj, fracasaron lamentablemente, ¿no serán éstos igualmente fallidos? Mi intención en este ensayo, como ya advertí a los lectores, es explicar por qué no.

### 3. Lingüística y matemática

Hay campos de estudio humanista en donde la búsqueda de patrones ha servido para superar con creces esos estadios iniciales del conocimiento en los cuales nada más es posible acopiar datos, a falta de un aparato teórico que no se limite a describir elementos sino que explique -partiendo de principios generales- cómo ocurren los procesos. Uno de los más notables es el de la lingüística.

Esta ciencia ha sido, desde el XIX, un campo de confrontación entre aquellos que creen que el registro de "hechos" basta para constituir una ciencia y quienes, quizá mediante un ejercicio de imaginación *a priori*, plantean relaciones entre componentes y reglas de cambio que permiten tener tanto una visión momentánea del estado del sistema como de su evolución temporal.

En el lenguaje humano, uno de los niveles en que podría parecer que domina lo contingente es el *habla individual*. Considérense las diferencias léxicas, semánticas y fonológicas de dos hablantes del castellano: pueden ser tan grandes que literalmente no se entiendan, así compartan el mismo código lingüístico. No obstante, si a cada uno se le preguntara por escrito ¿cuál de las siguientes construcciones es gramaticalmente correcta en su lengua: "Los cronopios son húmedos y tibios" o "humo calibración rojo matemáticamente del"?, no habría ninguna discrepancia aunque no tuviesen noticia de qué o quiénes son los cronopios, incluso si sospecharan que tales seres no existen.

Este reconocimiento depende de la *estructura lingüística* inscrita en las receditas de neuronas de cada hablante: una sene de reglas de asociación entre palabras sin las cuales no sólo es imposible reconocer lo que dice o escribe otra persona sino que, también, es imposible generar frases "coherentes" en cada idioma.

Sobre el principio general, de que las lenguas no pueden identificarse con el contenido de un diccionario exhaustivo<sup>19</sup> sino que conforman un sistema estructurado socialmente, el lingüista suizo Ferdinand de Saussure (1857-1913) estableció los fundamentos de lo que sería la comente más fructífera de la lingüística en nuestro siglo. Según Heartfield<sup>20</sup>

... De Saussure rechaza la concepción positivista del lenguaje según la cual habría una correspondencia simple entre éste y el mundo físico. Dice que las palabras existen, primariamente, en relaciones de unas con otras, aun antes de existir en relación con un objeto. Es la relación del signo con el código de significación lo que da su significado y no una correspondencia simple con un objeto externo.

Tal concepción implica la posibilidad de estudiar a las lenguas como instituciones sociales que evolucionan merced al conflicto entre tradición y cambio, y en donde,<sup>21</sup>

... al considerar la variación y la innovación lingüísticas, De Saussure muestra que las diferenciaciones dentro de la lengua tienen un efecto de golpe sobre otros términos -tiempos, prefijos, etcétera-; es decir, que cualquier innovación particular, afecta necesariamente todo el código de una lengua, o su estructura.

En la visión de De Saussure está el germen de la matematización que, cuarenta años después, haría Noam Chomsky al fundar la gramática generativa-transformacional que ilumina las pautas generales del lenguaje de los seres humanos y caracteriza sus diferentes manifestaciones como variantes de una capacidad universal de la especie; de manera que las diferencias entre el bantú, el chino, el zapoteco o el castellano son superficiales mientras que la estructura profunda y la capacidad de producción lingüística con base en reglas de asociación sintáctica son comunes a todos los hombres y las mujeres.

<sup>19</sup> Como habrían de pretender los seguidores de la escuela de Leonard Bloomfield en Estados Unidos. Véase *Bloomfield o el lexicón versus Chomsky o la estructura*, en Gutiérrez Sánchez. "Teorías, sistemas y comprensión del mundo", *art. cit.* (pp. 96 s).

<sup>20</sup> Véase Heartfield. "Structuralists", en *Intellectual currents of the twentieth century*.

<sup>21</sup> *idem*.

De hecho, Chomsky construye su gramática como un sistema lógico formal, axiomatizado, para describir la estructura sintáctica, y postula que "escribir una gramática es formular un conjunto de generalizaciones, *le.*, una teoría para explicar las observaciones del lenguaje que uno hace".<sup>22</sup> El suyo es un aparato para identificar los patrones comunes al *habla* de quienes poseen una misma *lengua* (en el sentido de De Saussure) que refleja, además, la característica generativa, esencial para la comunicación humana, consistente en que los hablantes crean, no repiten.

Pero esta lingüística matemática no es capaz de "capturar todo lo que hay que saber respecto al lenguaje" le falta, por ejemplo, lo que es específicamente cultural, antropológico. Aún no se ha desarrollado una matematización de la semántica igualmente exitosa como la de la sintaxis. De todos modos, ¡ay de aquél que crea que la matemática habría de capturar "todo lo que hay que saber" respecto a nada! Eso, desde luego, no está entre sus objetivos. Con la gramática generativo-transformacional<sup>23</sup>

... se captura solamente una parte de un cuadro mucho más grande, pero se trata de una parte importante. Es también una [...] de las que se manejan mejor usando técnicas matemáticas. La sintaxis inglesa [o de cualquier lenguaje natural] es una compleja estructura abstracta y la matemática es, simplemente, la herramienta intelectual más precisa que existe para describir estructuras abstractas [...] Cuando un lingüista escribe algunas reglas gramaticales lo que está haciendo es describir, por medio de símbolos en una página, la estructura abstracta del lenguaje que vive en nuestras mentes.

#### 4. Dinámica social y reduccionismo

Muy bien por Chomsky, pero consideremos nuevamente la materia del sueño de Asimov y la desconfianza que amplios grupos de humanistas y científicos sociales sienten respecto a la transposición de las herramientas de las ciencias "duras" a sus dominios.

<sup>22</sup> Citado por Devlin. *Op. cit.* (pp. 67 ss). Hay derivaciones del enfoque chomskiano hacia la matemática de la computación que exceden las intenciones de este ensayo. Una descripción general de esto puede hallarse también en el mismo lugar.

<sup>23</sup> Véase Devlin. *Op. cit.* (p. 71).

Desde luego, de ser posible reconocer estructuras o patrones en los procesos sociales humanos, es preciso evitar el error de reducir el comportamiento del todo al estudio de las partes -y nótese que en el estudio de las sociedades es el todo lo que importa-, porque los grupos humanos no pueden, como postula Hobbes en *Leviathan*,<sup>24</sup> ser una suma de individuos: en ellos se presentan actitudes que emergen sólo de la acción colectiva y que no tienen sentido individualmente.

Tampoco es factible esperar en los procesos sociales que los efectos sean proporcionales a las causas porque una sola chispa es suficiente para incendiar la pradera: las pequeñas perturbaciones en la dinámica social pueden producir catástrofes equiparables a la conocida metáfora del "efecto mariposa" en meteorología.

Cuando en un sistema sucede que los efectos son proporcionales a las causas (se puede demostrar que en tal caso vale también el principio de superposición), se dice que dicho sistema es *lineal*. Por consiguiente, los sistemas sociales son *no lineales*.<sup>25</sup> Es más, son *complejos*, porque<sup>26</sup>

Los sistemas complejos están formados por un conjunto grande de componentes individuales que interactúan entre sí y que pueden modificar sus estados internos como producto de tales interacciones. Tales sistemas pueden ser estructuralmente simples aunque tal simplicidad no impide que exhiban comportamientos dinámicos diversos y no triviales. Los sistemas complejos pueden situarse en regímenes críticos caracterizados por la presencia de fluctuaciones espaciales y temporales en todas las escalas posibles. Esta situación de criticalidad puede alcanzarse de manera espontánea y sin la intervención de factores o fuerzas externas al sistema; se habla entonces de un proceso autoorganizado. El proceso de interacciones puede generar comportamientos colectivos y globales. Es decir, conductas que no están definidas en los elementos individuales, pero que emergen como un proceso colectivo y que no pueden ser reducidas ni explicadas tomando aisladamente los elementos constituyentes.

<sup>24</sup> Véase la detallada discusión del mecanicismo en el *Leviathan* que hace K. Mainzer en *Thinking in complexity* (pp. 240-242).

<sup>25</sup> Véase Pedro Miramontes. "Del maligno, Señor, defiéndeme".

<sup>26</sup> Véase Octavio Miramontes. "Los sistemas complejos como instrumentos de conocimiento y transformación del mundo" (p. 83).

Preconcebir un proceso social como un sistema cerrado, en el sentido de que no interactúa con el exterior, en donde es posible establecer una cadena causal simple es querer meter a las ciencias sociales en un lecho de Procusto, imponerles una restricción tan absurda como vana: las interacciones de los elementos que componen una sociedad son múltiples; muchos efectos obedecen, asimismo, a múltiples causas y nunca están aislados: intercambian energía, información, dinero, etcétera, con el exterior.

No es exagerado decir que, en nuestros días, se han configurado dos "corrientes de la ciencia":<sup>27</sup> la hegemónica, por el poder que concentra en comités científicos y ministerios gubernamentales -cuyos éxitos la hacen presentarse como ideal del modo de hacer ciencia- es reduccionista y "estrechamente disciplinaria". En ella se aplica el paradigma de lo que Contad Hal Waddington llama "la sabiduría convencional del grupo dominante" o *cowdung*,<sup>28</sup> consistente en pensar aquello que ocurre a nuestro alrededor como el resultado de la superposición de varias cadenas de causas simples donde, por ejemplo, *a* es causa de *b* y, enseguida, *b* es causa de *c*, *c* es causa de *d*, y así sucesivamente.<sup>29</sup>

La segunda, relativamente nueva y poco conocida es, por el contrario, interdisciplinaria e integradora, cualitativa y dialéctica. Mientras aquella es "una ciencia de las partes", ésta es "una ciencia de la integración de las partes" en la que no se desdeñan todas las influencias secundarias para concentrarse sólo en los efectos primarios si bien, cuando se le matematiza, es parsimoniosa en el sentido de Occam, porque recurre a la multiplicidad de causas sólo cuando es indispensable y donde, de dinámicas relativamente sencillas, se deducen efectos complejos.

<sup>27</sup> Bautizadas así por el ecólogo C.S. Holling y citado por Tom Abel en "Complex Adaptive Systems,..."

<sup>28</sup> Literalmente, *cowdung* significa "caca de vaca". Es probable que Waddington haya hecho su juego de palabras como acrónimo de *The conventional knowkdge ofthe dotmnantgroup*. Véase Gutiérrez Sánchez. "Waddington, Thom y la biología teórica". Véase, asimismo Waddington. *Instrumental para o pensamento* (pp. 11-13).

<sup>29</sup> La ingeniería genética y la biología molecular son ejemplos de esta corriente. No obstante su arrogancia, el reduccionismo no las tiene todas consigo: recientemente un paciente joven y fuerte, con una deficiencia enzimática congénita, murió al tratar de aplicarle una cura genoterapéutica. No es difícil que la causa del deceso haya sido el desdén por considerar al organismo como un todo y no como una suma de moléculas. Véase Eliot Marshall. "Gene Therapy Death Prompts Review of Adenovirus Vector".

No es que una sirva y la otra no, pero el ámbito de aplicaciones de cada una es distinto. Pero ya se ha dicho por qué no se puede partir de la concepción de la corriente dominante para hallar patrones o estructuras en los procesos sociales. Una consecuencia más de esta imposibilidad es que la búsqueda de la estabilidad o el equilibrio en tales sistemas está, también, condenada al fracaso: el cambio en ellos es constante; paradójicamente, puede decirse que eso es lo único que no varía, su transformación permanente.

Si aceptamos las anteriores como características universales de los sistemas sociales humanos, no es difícil comprender por qué la política económica de la escuela monetarista de Milton Friedman, del neoliberalismo y del Banco Mundial, produce tantos males y yerra una y otra vez en su intento de buscar "la certidumbre, la estabilidad y el crecimiento": la razón estriba en que es imposible que un sistema abierto, como la economía mundial de nuestros días, con tantos actores, intereses e interacciones en conflicto pueda estar gobernado esencialmente por una sola variable -la cantidad de dinero circulante-, y bajo estos supuestos, no hay nada más absurdo que la búsqueda del equilibrio entre los factores de la producción en su sentido estático, en donde nada cambia, cuando es evidente que, como ya lo sostenía Heráclito, en este mundo nada puede estar quieto.

## 5. Antropología cultural y sistemas adaptativos complejos

En sentido contrario al de la corriente hegemónica hay, en las ciencias sociales, escuelas de pensamiento perfectamente inscritas en la segunda: lejos de pretender reducir sus análisis a unos cuantos factores concatenados unidireccionalmente, abordan sus objetos de estudio como grandes sistemas interactivos en donde (a) los actores están inmersos en una extensa red de interconexiones; (b) el cambio en el estado de uno de sus elementos implica cambios en toda la red y (c) la dinámica produce el surgimiento de propiedades nuevas que modifican aspectos esenciales del sistema.

La mayoría de los científicos "duros" descubrieron hace menos de treinta años esta visión del mundo,<sup>30</sup> pero importantes grupos de antropólogos, en particular los

<sup>30</sup> En efecto, el estudio de estructuras disipativas lejos del equilibrio termodinámico, que es el antecedente inmediato de esta corriente en la física, empezó a difundirse extensamente sólo a fines

que suscriben la versión contemporánea de la *teoría evolutiva de la cultura*, habrían adoptado quizá desde el primer tercio de este siglo una actitud abiertamente antirreduccionista con muchos puntos de contacto con las corrientes que hoy nutren, en la física y la química, a la teoría de los sistemas complejos. De hecho, según Abel<sup>31</sup>

[Esta forma de la] teoría evolutiva de la cultura es una tradición analítica dentro de la segunda corriente de la ciencia... [los autores adscritos a ella] utilizan estudios de caso tanto de sociedades pasadas como existentes para construir argumentos para la comprensión de la estructura y función de las culturas y los procesos que dan lugar al cambio. Lo que surge de la comparación y el contraste de los casos son diversas hipótesis sobre [el tipo de] relaciones [existentes allí]. Como resultado de sus análisis, se obtienen modelos explicativos que relacionan funcionalmente la organización social humana con las actividades políticas y económicas, las actividades de subsistencia [el medio físico y biótico en general] y la demografía...

Así, la visión antirreduccionista era ya una tradición en la antropología cultural y, naturalmente, a la vez que esta ciencia puede beneficiarse de las representaciones matemáticas generales de los *sistemas adaptativos complejos* para explicar la emergencia de propiedades sociales, puede servir para evitar dos problemas comunes en la práctica de la interdisciplina:<sup>32</sup> "Reinventar la teoría o escoger una ruta ampliamente desacreditada."

Si, al construir modelos dinámicos, se pone el acento en la interacción de los seres humanos con su entorno, en la demografía, la innovación tecnológica y la economía política, será posible explicar cómo han ido surgiendo y consolidándose los patrones socioculturales nuevos como la especialización laboral, la propiedad privada, la desigualdad social, las instituciones policiaco militares, el estado burocrático o los sistemas legales y financieros supranacionales.

de los sesenta al descubrirse que los sistemas abiertos presentan propiedades emergentes en forma de estructuras espacio-temporales ordenadas merced solamente a su dinámica interna sin necesidad de explicaciones exógenas.

<sup>31</sup> Véase Tom Abel. "Complex Adaptive Systems..."

<sup>32</sup> *ídem*.

Eso es lo que hace, por ejemplo, Marvin Harris,<sup>33</sup> al plantear una teoría explicativa de los enigmas de la cultura a partir de las condiciones estructurales impuestas por la ecología en los distintos lugares en los que se dan tales enigmas: del Oriente Cercano a la Selva del Amazonas y del Desierto Australiano a los bosques de Oregon y Washington.

También eso busca Abel, cuando establece modelos matemáticos para las redes de interacción de las comunidades y los recursos energéticos disponibles en su hábitat de manera que le es posible simular computacionalmente la evolución cultural de los grupos humanos: desde la organización en clanes del paleolítico hasta la aldea global de nuestros días.<sup>34</sup>

## 6. La ciencia de los sistemas complejos

Hoy en el mundo hay muchos centros de investigación en *sistemas complejos*, pero históricamente destacan tres escuelas: la de Prigogine en Bélgica, la del Instituto de Investigación en Sistemas Complejos en Santa Fe de Nuevo México y la de Haken, en Alemania. En todos ellos se aplica la misma herramienta matemática, la teoría de los sistemas dinámicos no lineales,<sup>35</sup> y sus estudios cubren prácticamente todo el espectro del conocimiento de nuestros días: desde la fisicoquímica de sistemas termodinámicos lejos del equilibrio hasta los modelos prospectivos para el desarrollo urbano o regional sustentable.

Ante la imposibilidad de reproducir experimentalmente los procesos que allí estudian, se les simula en computadora de manera que la experimentación *in vitro* o *in situ*, que valida resultados en las ciencias duras, es sustituida por la experimentación *in silico* en la que es posible modificar tanto las condiciones iniciales como las condiciones de frontera.<sup>36</sup>

<sup>33</sup> Véase M. Harris. *De cerdos, vacas, guerras y brujas...* (*passim*).

<sup>34</sup> Vaya el lector interesado a la página *web* de Abel: <http://www.clas.ufl.edu/users/abeltd>

<sup>35</sup> Cuyas expresiones gráficas son ahora extraordinariamente populares pues suelen generar estructuras con geometría fractal y comportamiento caótico.

<sup>36</sup> Véase Bourguine *et al.* "Co-évolution, cascades d'événements et états critiques auto-organisés".

... lo que plantea el problema de la comparabilidad de resultados. Para los sistemas evolutivos (interactivos) complejos, la semejanza microscópica, en el nivel de trayectorias individuales, no tiene sentido alguno, hay que contentarse con un parecido de las características globales entre los datos fenomenológicos y los resultados de la simulación. El problema, entonces, es encontrar el modelo paradigmático más parsimonioso que dé cuenta cualitativa y estadísticamente de los datos observados.

El término coevolución es un préstamo de la biología evolutiva pero, en otros dominios, puede decirse que para que ocurra, basta que el valor adaptativo de una entidad sea una función del estado de las otras, de manera que la desaparición o el cambio de una de las entidades puede producir cascadas de acontecimientos. De hecho, la dinámica de todo sistema interactivo complejo es, potencialmente, una dinámica coevolutiva y esto es suficiente para modelarla de ese modo.

Por ejemplo, uno de los alumnos más destacados de la escuela de Bruselas, el profesor Peter M. Alien,<sup>37</sup> ha desarrollado una serie de *modelos de complejidad* claramente coevolutivos, en el sentido descrito aquí, para el desarrollo regional *real*. Los resultados de sus experimentos *in silico* son extraordinariamente cercanos a los registros estadísticos. Así, al analizar la evolución espacial de la oferta de empleo en la industria manufacturera y el crecimiento demográfico por provincia en Bélgica, entre 1975 y 1984, los errores promedio son siempre menores al 1%.

El modelo de Alien es un sistema dinámico en ecuaciones diferenciales no lineales que reflejan la red de interdependencias existente entre los factores ecológicos, económicos, sociales y culturales de la economía belga, pero una metodología semejante le ha permitido descubrir patrones de comportamiento en la captura de especies de alto valor comercial en las pesquerías canadienses o simular el desarrollo, con la intención manifiesta de explorar los "futuros posibles" y no de "hacer predicciones", de países pobres como Senegal.<sup>38</sup>

<sup>37</sup> Véase P. M. Alien. "The Spatial Evolution of Jobs and People in Belgium", *passim*.

<sup>38</sup> Véase P. M. Alien. "The Sénégal Model".

## 7. De vuelta al sueño

Tal vez la teoría de los sistemas complejos sea la herramienta de la psichistoria asimoviana. La historia de desarrollo social en el largo plazo, no cabe duda, tiene las características generales de aquellos sistemas: las contingencias están acotadas y el devenir, durante un lapso suficientemente extenso, tiene estructura.

Como puede verse en trabajos como el de Abel, en antropología cultural, o el del equipo de Alien, en desarrollo económico, cada vez más científicos sociales vuelcan su atención hacia la matemática de lo complejo que es, hoy por hoy, quizá la mejor herramienta para su pensamiento: integrador, no lineal, parsimonioso, dialéctico.

En el dominio específico de la historia, me ha entusiasmado encontrar una expresión decidida a favor de la esperanza de Asimov en Fernand Braudel. A pesar de su crítica, entre amigable y mordaz, sobre "el imperialismo juvenil de las matemáticas" en el trabajo de Claude Lévy-Strauss, este historiador encuentra virtudes notables en lo que él identifica en 1958 como una matemática que supera el determinismo mecanicista y trasciende lo meramente azaroso, una nueva matemática que es el "lenguaje de los hechos condicionados, ni determinados ni aleatorios sino sometidos a ciertas restricciones" que abre el camino para tratar con cualidades y que<sup>39</sup>

... desde ese momento, el paso de la observación a la formulación matemática no se hace ya obligatoriamente por la difícil vía de medidas y largos cálculos estadísticos. Del análisis de lo social se puede pasar directamente a la formulación matemática, a la máquina de calcular, diríamos.

Después de todo, la escuela braudeliana busca también lo estructural en su análisis de la *larga duración* sobre los *acontecimientos* en el *tiempo corto*. En el fondo, ésta es la misma idea que inspira a Asimov. No en vano, en *Civilización material, economía y capitalismo*, Braudel dedica todo un tomo a analizar cómo *Las ruedas del comercio* configuraron la Europa de los siglos XV a XVIII, mientras que los títulos originales de sendos capítulos de *Fundación*, precisamente aquellos dedicados a describir cómo se había construido el poderío económico de *Trantor*, eran *Los príncipes mercantes* y *Los comerciantes*.

<sup>39</sup> Véase F. Braudel. "Historia y ciencias sociales. La larga duración".

Mucho **han** crecido las ciencias de lo humano desde los cincuenta y aún persisten muchas barreras entre las disciplinas humanísticas y las ciencias duras. La matemática, desde los pitagóricos y Platón, ha sido un puente entre ambas. Cada vez más estudiosos de las dos culturas se atreven a transitar por éste. Yo, desde luego, comparto el sueño de Asimov y ¿tú, amable lectora, estimado lector?

## Referencias

- Abel, Tom. "Complex Adaptive Systems, Evolutionism, and Ecology within Anthropology: Interdisciplinary Research for Understanding Cultural and Ecological Dynamics", en *Georgia Journal of Ecological Anthropology*, vol. 2, 1998 (pp. 6-29).
- Alien, Peter M. "The Spatial Evolution of Jobs and People in Belgium", en *Cities and Regions as SelfOrganizing Systems. Models of Complexity*. Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 1997 (pp. 107-129).
- . "The Sénégál Model", en *Cities and Regions as SelfOrganizing Systems. Models of Complexity*. Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 1997 (pp. 131-174).
- Altmann, Gabriel & Walter A. Koch (ed.). *Systems. New Paradigms for the Human Sciences*: De Gruyter, Berlín, 1998.
- Asimov, Isaac. *Trilogía de la Fundación: Fundación, Fundación e Imperio, Segunda Fundación*: Plaza y Janes, Barcelona, 1989.
- Bourguine, Paul, Eric Bonabeau y Pierre Saurel. "Co-évolution, cascades d'événements et états critiques auto-organisés", en Albert A. (ed.). *Chaos and Society*: Sainte-Foy, Presses de L'Université du Québec, 1995 (pp. 63-81).
- Braudel, Fernand. "Historia y ciencias sociales. La larga duración", en *Escritos sobre historia*: Alianza Editorial, Madrid, 1991 (pp. 39-74).
- Clark, Alian. *Elements of Abstract Algebra*: Dover Publications, Nueva York, 1971.
- Gutiérrez Sánchez, José Luis. "Teorías, sistemas y comprensión del mundo", en Santiago Ramírez Castañeda (ed.). *Perspectivas en la teoría de sistemas*: CIICH/UNAM/Siglo XXI Editores, México, 1999 (pp. 93-100).

- . "Waddington, Thom y la biología teórica", en *Clásicos de la biología matemática*: Facultad de Ciencias de la UNAM, México (en prensa).
- Gutiérrez Sánchez, José Luis y Faustino Sánchez Garduño. *Matemáticas para las ciencias naturales*: Sociedad Matemática Mexicana (Aportaciones Matemáticas, Textos 11), México, 1998.
- Harris, Marvin. *Vacas, cerdos, guerras y brujas: los enigmas de la cultura*: Alianza Editorial, Madrid 1982.
- Heartfield, James. "Structuralists", en *Intellectual currents of the twentieth century*: <http://www.heartfield.demon.co.uk/mainframe.htm>
- Kevlin, Keith. *Mathematics, The Science of Patterns*: Scientific American Library, Nueva York, 1997.
- Kline, Morris. *Mathematics in Western Culture*: Oxford University Press, Nueva York, 1953.
- Mainzer, Klaus. *Thinking in Complexity. The Complex Dynamics of Matter, Mind and Mankind*: Springer-Verlag, Nueva York, 1994.
- Marshall, Eliot. "Gene Therapy Death Prompts Review of Adenovirus Vector", en *Science*, vol. 286, núm. 5448, 17 de diciembre de 1999 (pp. 2244 s).
- Miramontes, Octavio. "Los sistemas complejos como instrumentos de conocimiento y transformación del mundo", en *Perspectivas en la teoría de sistemas. Op. cit.* (pp. 83-92).
- Miramontes, Pedro. "El estructuralismo dinámico", en *Perspectivas en la teoría de sistemas. Op. át.* (pp. 70-82).
- . "Del maligno, Señor, defiéndeme", en *Ciencias*, núm. 46: Facultad de Ciencias, UNAM. Abril-junio de 1997, México, (pp. 30-37).
- Volpi, Jorge. *Un busca de Klingsor*: Seix Barral, Barcelona, 1999.
- Waddington, Conrad Hal. *Instrumental para o Pensamento*: Itatiaia-Universidade de Sao Paulo, Belo Horizonte, 1979.