

# El papel de la imaginación para el estudio de los sistemas complejos

Carlos Eduardo Maldonado\*

El estudio de los sistemas, fenómenos y comportamientos caracterizados por complejidad creciente tiene dos dificultades principales para su comprensión y aprendizaje. Por un lado, como en todas las revoluciones científicas cuando acontecen, es la dificultad del lenguaje. Debido a los neologismos, a las nuevas realidades y a las metáforas, que no tienen ninguna coincidencia con el modo en que ocasionalmente algunos términos empleados por los *complejólogos* usan el lenguaje en relación con el lenguaje habitual tanto de los demás seres humanos como de la ciencia normal.

Por otro lado, está el hecho de que los más destacados temas, problemas y conceptos de la ciencia de punta contemporánea son alta y crecientemente contraintuitivos. Esto es, la percepción en el sentido natural de la palabra no cumple ningún papel presentificador ni de fundamento, en contraste con toda la historia de la ciencia y la cultura en Occidente. En verdad, la mayoría de los temas y problemas de los que habla la ciencia de punta en general literalmente no se ven con los ojos. Por el contrario, se conciben, se imaginan, se simulan –tres modos coincidentes. Pues las ciencias de la complejidad exigen y demandan al mismo tiempo un cambio de actitud con respecto al rol de la percepción natural y de la visión natural acerca de la realidad. Manifiestamente, nos encontramos en medio de una verdadera revolución científica, que no es sino la manera genérica para decir una verdadera revolución cultural, civilizatoria y, por tanto, política.

---

\* Profesor titular, Facultad de Ciencia Política y Gobierno, Universidad del Rosario.

Sin la menor duda, en marcado contraste con las tradiciones realista, empirista y positivista de la ciencia, y en contraste contra lo que podría pensarse, el verdadero fundamento de la ciencia no estriba en el trabajo con datos, descripción, observación y demás, ni tampoco en la capacidad para formular preguntas, adelantar hipótesis, explorar conjeturas.

No sin esas –y otras– condiciones, nadie es científico si no es capaz de llevar a cabo *experimentos mentales* (*thought experiments*, en inglés; *Gedankenexperimenten*, en alemán). Para decirlo de manera directa y franca se trata de la capacidad para pensar mundos distintos, comportamientos diferentes, posibilidades, en fin, cualquier cosa menos determinismo y causalidad. Bastaría con echar una mirada a la historia de la ciencia en general para verificar este aspecto que, sin embargo, no siempre aparece claramente en el foco, a plena luz del día.

Como ha sido puesto de manifiesto por parte de la filosofía de la ciencia, los experimentos mentales son igualmente conocidos como *pompas de intuición* (*intuition bubbles*), como un método heurístico en el trabajo con y el movimiento hacia novedad e innovación (Brendel, 2003).

En cualquier caso, los experimentos mentales y las pompas de intuición son simple y llanamente el trabajo con la imaginación y la fantasía. Pero, más radicalmente, no con imaginación asociativa, sino imaginación creativa, que es la más importante, pero también la más difícil.

Ahora bien, la principal dificultad que presenta el trabajo –en educación en general, en educación en ciencia y, por derivación, de cara a toda la sociedad– con experimentos mentales estriba en la linealidad de los programas y reglamentos de enseñanza y aprendizaje: programas lineales seguidos semana a semana, evaluaciones periódicas y evaluaciones de diverso orden –importantes de cara a los procesos de gestión académica pero vacuos desde el punto de vista de la creatividad y el aprendizaje, de la sorpresa y la emergencia.

Trabajar con la imaginación significa girar la atención antes que sobre los fenómenos reales –en el sentido naturalista de la palabra–, hacia las posibilidades. Pues bien, el trabajo con posibilidades consiste, dicho en el lenguaje técnico de la complejidad, en el trabajo mismo con la identificación de los puntos críticos y los estados críticos del fenómeno que se trate.

Ahora bien, todo punto o estado crítico es elaborado, en complejidad, con la ayuda de dos dimensiones próximas, así: los estados de subcriticalidad y los de supracriticalidad. Los primeros hacen referencia a las condiciones que exhibe un sistema de tal modo que se encuentra acercándose a un umbral en el que suce-

derán cambios cualitativos, bifurcaciones, transformaciones cualitativas. Por su parte, los estados de supracriticalidad designan las condiciones que tienen lugar una vez que se ha cruzado el umbral de criticalidad.

Los puntos o estados críticos no se ven, literalmente; se los concibe. Y designan los puntos o estados en los que se produce un cambio de fase de un fenómeno. El estudio de los cambios de fase se conoce como espacios de fase, y estos espacios no existen en los marcos de la geometría euclidiana. Una forma como se designan a los espacios de fase es como espacio(s) de Hilbert, en referencia a las contribuciones de D. Hilbert a la ampliación o extensión de los espacios euclidianos.

Los cambios de fase pueden ser identificados como uno de los aspectos más innovadores y determinantes del trabajo con fenómenos y sistemas complejos no-lineales. El concepto que resume este trabajo con posibilidades es el de transiciones de fase. Pues bien, las transiciones de fase tienen lugar de dos modos: como transiciones de fase de primer orden, y transiciones de fase de segundo orden. Las primeras hacen referencia a los cambios de una fase a otra; las segundas, a transformaciones continuas. El marco de estudio de esta clase de fenómenos y comportamientos es la termodinámica.

La termodinámica es una de las más importantes de las ciencias de la complejidad y su mérito principal consiste en mostrar que los fenómenos evolucionan desde el equilibrio hacia el filo del caos, o también, que el orden sucede a través de fluctuaciones; esto es, lejos del equilibrio.

La consecuencia de esta idea no puede ser más sorprendente: el estudio de los fenómenos complejos no-lineales no es otra cosa que el proceso mediante el cual:

- i. En el orden epistemológico, el investigador estudia cómo un fenómeno determinado sufre rupturas de equilibrios, y en ese desequilibrarse sorprendentemente va adquiriendo más o mayor orden; y
- ii. en el orden práctico, el estudio de la termodinámica consiste en desequilibrar los fenómenos. En otras palabras, en transformar los sistemas y sus clasificaciones ya no son horizontales, verticales, piramidales, y lineales en sistemas no-lineales.

Una manera puntual en la que ambos planos coinciden y se refuerzan consiste en decir que el trabajo en complejidad consiste en introducir, por así decirlo, posibilidades a lo que no las tiene. Dicho en el lenguaje de la complejidad, esto se entiende como introducir al mundo más y mayores grados de libertad.

En efecto, la complejidad de un fenómeno, sistema o comportamiento consiste en los grados de libertad que tiene o admite el sistema considerado. En otras palabras, a mayores grados de libertad, mayor complejidad. La siguiente fórmula condensa la idea mencionada:

> Libertad > Complejidad
--------------------------

Existen varias maneras de trabajo con las posibilidades, en el sentido mencionado. Uno de estos métodos es a través del uso de sistemas informacionales y computacionales, específicamente de la simulación. La simulación es específica de los sistemas complejos y consiste en juegos computacionales mediante los cuales emergen nuevos comportamientos y estructuras, nuevas posibilidades y dinámicas. Literalmente, es el proceso *bottom-up*, mediante el cual el investigador sólo introduce una serie de criterios básicos y espera que el computador –es decir, el simulador– genere resultados que no coinciden para nada con el *input* original. La condición para el trabajo en este nivel consiste en el estudio y conocimiento de herramientas computacionales y, por derivación, de ingeniería de sistemas.

Por lo demás, supuesta la libertad de investigación y de enseñanza y aprendizaje, el trabajo de punto en complejidad, cuando el tema es el de la generación de nuevo conocimiento, consiste en el estudio de *todas* las posibilidades de un fenómeno. Pues bien, el estudio de todas las posibilidades se designa como el espacio de configuraciones. Este puede ser comprendido como el espacio en el que, supuestos los intereses del investigador, el objeto de trabajo consiste en la consideración de todos los espacios posibles en las dinámicas de un fenómeno determinado.

Un segundo método de trabajo con las posibilidades es mediante metaheurísticas. Las metaheurísticas son una herramienta específica de las ciencias de la complejidad y tiene un dúplice aspecto, así: por un lado, computacional, y entonces existe un fuerte vínculo con el método anterior de la simulación –incluido el modelamiento–; por otro, trabajo conceptual, que no requiere, necesariamente, de conocimientos informáticos o computacionales.

Una manera de comprender las metaheurísticas es por vía de contraste con un concepto que lo precede en la historia de las ideas y métodos en ciencia y filosofía de la ciencia. Se trata del concepto de “heurística”, formulado originariamente por I. Lakatos. La heurística consiste, simple y llanamente, en la búsqueda de solución a un problema determinado. Un problema exige de una

solución y, por definición, esa solución debe ser exacta. Al cabo, un problema a la vez, y cada solución específica.

En contraste, las metaheurísticas consisten en el trabajo con conjuntos de problemas y la formulación de espacios de solución. Los conjuntos de problemas pueden ser identificados con diversos criterios –proximidad, priorización, isomorfismo, y varios otros–, y trabajan en espacios de solución con soluciones aproximadas. Paradójicamente, las soluciones aproximadas resultan más precisas gracias al hecho de que se trabaja con conjuntos de problemas y de soluciones.

Un tercer método para el trabajo con posibilidades es mediante el empleo de lógicas no-clásicas. Entre estas, la lógica de contrafácticos es bastante útil. Partiendo de un hecho, este se niega y se estudia, hasta el fondo, en todas sus consideraciones, las consecuencias de la negación del hecho primero, y qué sucedería o habría sucedido o incluso podría suceder. La fórmula básica de la lógica de contrafácticos se expresa así:

$$P \rightarrow S \quad (1)$$

$$\neg P \quad (2)$$

$$¿S? \quad (3)$$

La forma más integral de apreciar el papel constructivo de la lógica de contrafácticos con respecto al trabajo con posibilidades consiste en señalar de qué manera, dicho en el lenguaje de la gramática, mientras que la ciencia normal trabaja con el modo del indicativo –presente del indicativo, pasado del indicativo, futuro del indicativo, imperfecto, y otros tiempos verbales–, la lógica de contrafáctico invita a girar la mirada hacia la importancia de pensar ya no en el modo del indicativo, sino en el modo del condicional y del subjuntivo: ¿Qué sucedería si...? ¿Habría sido posible que...? ¿Y si sucediese que  $x$  en lugar de  $y$ ?, por ejemplo. Se trata de pensar contra-los-hechos, contrariamente al realismo (ingenuo) y a la obviedad de las cosas, en fin, contra todo aquello que va de suyo.

Sin embargo, son varias las lógicas no-clásicas que pueden contribuir efectivamente al trabajo con posibilidades. Para decirlo de manera directa y radical, la lógica formal clásica –es decir, la lógica simbólica o la lógica matemática– nada puede con respecto al trabajo con posibilidades. Lo mejor, por tanto, consiste en el trabajo directamente con las lógicas polivalentes, o paraconsistentes, por ejemplo, sin tener que atravesar por los terrenos de la lógica formal clásica.

Finalmente, existe un cuarto método para el trabajo con posibilidades y que de cara a la corriente principal de la ciencia puede parecer totalmente anodino o inaudito. Se trata del trabajo e interacciones entre ciencia y el arte y la estética. En efecto, el arte y la incorporación de criterios estéticos son, por sí mismos, procesos de simulación –de posibilidades. Una manera rápida de decirlo aquí consiste en pensar con la mano, y no ya única o principalmente con la cabeza (Maldonado, 2013; Hjort, 2003).

Si una de las características determinantes de la buena ciencia de punta en el mundo –y por tanto, también de las ciencias de la complejidad– es la inter, trans, y multidisciplinariedad, el diálogo entre ciencia y arte, entre ciencia y estética, debería ser continuo y más a profundidad de lo que en realidad sucede. Por definición, el arte es la creación de nuevas realidades, y la estética es la experiencia de belleza y armonía –complejidad creciente.

Una doble observación se hace necesaria. Por un lado, se ha señalado aquí la relación entre ciencia y posibilidad. Pues bien, por el concepto de “ciencia” en absoluto hay que pensar aquí en la clásica división entre ciencias y humanidades, o entre ciencias duras y ciencias suaves, y otras semejantes. No solamente esas divisiones y clasificaciones hoy ya no son válidas, y ciertamente no en el marco de la investigación de frontera en el mundo. En consecuencia, las observaciones y los aprendizajes mencionados son igualmente válidos en el marco de las ciencias sociales y humanas en general. Y, a fortiori, en la ciencia política y de gobierno y las relaciones internacionales.

Por otra parte, es evidente que el trabajo y los métodos mencionados no son conocidos o practicados en la corriente principal (*mainstream*) de la ciencia, incluso en el contexto de las ciencias sociales y humanas. Más exactamente, se trata de un aprendizaje mismo por parte de las ciencias sociales y humanas de rasgos y atributos que pueden contribuir de manera significativa al propio trabajo y estatuto epistemológico y social de este grupo de ciencias, y a sus relaciones con otras áreas del conocimiento en general.

La imaginación constituye, por así decirlo, el polo al aire del conocimiento. Es evidente que existe también un polo a tierra, por así decirlo. El polo a tierra consiste en las dos formas tradicionales como la ciencia clásica ha sido posible hasta la fecha. Estas son la inducción y la deducción. En contraste, el trabajo con la imaginación y las posibilidades exige poner abiertamente sobre la mesa el reconocimiento de que hoy por hoy existe una tercera clase de ciencia, a saber: la

ciencia por modelamiento y simulación. Y es justamente ahí donde se inscriben las ciencias de la complejidad.

Es preciso decir que la imaginación y la fantasía son el material de trabajo constante y recurrente entre los mejores y más grandes científicos, algo que puede ilustrarse con facilidad en la historia de la ciencia y de la cultura en general. Y sin embargo, la fantasía y la imaginación han sido sistemáticamente desplazadas a lugares (muy) secundarios, particularmente en los formas normales de tratamiento de temas como pedagogía, gestión del conocimiento, políticas de ciencia y tecnología, didáctica y enseñanza, consideraciones acerca de las comunidades de aprendizaje, en fin, también en la metodología de la investigación científica. Pues bien, hay que decirlo de manera franca: el abandono de la imaginación y la fantasía consiste exactamente en el desplazamiento del *pensar* a favor del conocer. Lo que no se enseña ni se promueve es el pensar. Y el grueso del trabajo en las universidades se concentra exclusivamente en la apropiación de técnicas y herramientas, y en situar al conocimiento y la información como dominios absolutos. Existen intereses creados para evitar que estudiantes y profesores piensen. La administración –gestión, planeación aseguramiento, control, y demás– domina y se superpone a la academia y la investigación. Una situación nada favorable ni deseable.

Sin bases de datos, sin excelentes bibliotecas y las mejores tecnologías, sin revistas de punta y sólidas redes nacionales e internacionales de trabajo, sin condiciones amables de trabajo y una cultura organizacional inteligente, nadie puede llamarse ni desarrollarse como científico si no es capaz de llevar a cabo experimentos mentales, trabajo con pompas de intuición, simulación de escenarios y estructuras, en fin, el libre juego de variaciones de fantasía, todos los cuales arrojan siempre, por definición, más y mejores luces acerca de lo que se asume como real y sobre lo posible y probable; sobre lo necesario y lo contingente, tanto como sobre lo imposible mismo.

En efecto, pensar bien consiste en pensar en todas las posibilidades. Y uno de los modos de lo posible es lo imposible mismo. Pues bien, existe un campo reciente de las matemáticas que consiste en la tematización y el trabajo con imposibilidades: estructuras imposibles, dinámicas imposibles, demostraciones de imposibilidad. Se trata de la cohomología, un capítulo de la matemática estrechamente vinculado con la geometría y la topología.

La cohomología incorpora el trabajo con teselados, y es vecina de los grafos e hipergrafos, tanto como con las matemáticas de sistemas discretos. Sin olvidar,

de manera alguna, que la *lingua franca* de todas las matemáticas contemporáneas es la teoría de conjuntos.

La imaginación científica coincide con la imaginación artística en la creación de nuevas experiencias, en el juego con nuevas dimensiones, en la capacidad de sorprender a la experiencia natural. Las vanguardias artísticas y las revoluciones científicas representan dos de las formas más destacadas como nuevos horizontes que pueden ser intuitos y trabajados efectivamente.

Los sistemas complejos no son simplemente sistemas dinámicos. La dinámica fue, de hecho, el descubrimiento de la ciencia moderna gracias, notablemente, a la mecánica clásica. Mejor aún, los sistemas complejos son sistemas dinámicos no-lineales, y la no linealidad significa dos cosas. En un plano, quiere decir que existen fluctuaciones, inestabilidades o “rarezas” que hacen que el comportamiento del fenómeno estudiado no sea susceptible de ser comprimido ni anticipado de antemano. En este sentido, puede decirse que la no-linealidad es incompresible, e indecidible. Esto es, no puede decirse si el sistema se detiene y cuándo, ni tampoco cuál será el siguiente camino que el fenómeno adoptará.

Al mismo tiempo, en otro plano, se dice que los sistemas complejos son hamiltonianos. A fin de entender esta idea, es preciso distinguir varias clases de sistemas dinámicos, así: sistemas lagrangianos, sistemas hamiltonianos, sistemas dinámicos no-lineales, sistemas termodinámicos, básicamente. Los sistemas dinámicos no-lineales demandan una cuidadosa consideración ya que no exhiben patrones claros de comportamiento, y ciertamente ninguna constante o ley, que expliquen y condensen sus dinámicas.

La cultura de la modernidad, y hasta la época contemporánea, se fundó, social y culturalmente, en el primado de la observación y la descripción. Sin ambages, se trató del triunfo final de la geometría euclidiana como modelo exclusivo de la visión del mundo. La geometría analítica desarrollada por Descartes constituye, sin lugar a dudas, el mayor refinamiento de la geometría euclidiana.

Sin embargo, la irrupción de las geometrías no-euclidianas, primero gracias a Bolyai, Lobachevsky y Riemann, y posteriormente el desarrollo de numerosas otras geometrías asimismo llamadas, de manera genérica, como no-euclidianas, pusieron de manifiesto el hecho de que podíamos y debíamos incluso pensar en términos superiores o distintos a un mundo de tres dimensiones.

Contra lo que la lógica formal clásica permite creer, es posible hacer ejercicios de imaginación por medio del pensamiento racional lógico. Con la condición

de que se considere entonces una de las más importantes de todas las vías de las ciencias de la complejidad, a saber: las lógicas no-clásicas.

En efecto, la dificultad de la lógica formal clásica (LFC) de cara a la posibilidad de incorporar la imaginación en el pensamiento creativo estriba en su carácter eminentemente deductivo y, por tanto, rígido. Pues bien, muchas de las lógicas no-clásicas se caracterizan por una mayor flexibilidad relativamente la LFC. Así, por ejemplo, gracias a que algunas, como la lógica paraconsistente y la lógica de la relevancia, no respetan el principio de no-contradicción. O como la lógica intuicionista, que no adoptan el principio de idempotencia. Incluso las lógicas polivalentes, que justamente permiten trabajar con fenómenos y sistemas caracterizados por una variedad amplia de valores, incluso hasta las lógicas infnivalentes. O mencionar también a la lógica libre, para lo cual cabe recordar siempre que la imaginación creativa es esencialmente abierta y libre.

De esta suerte, la tradicional dicotomía entre lógica e imaginación, o acaso también entre razón y fantasía, puede ser superada. Pues esa escisión es válida tan solo dentro del esquema clásico de la racionalidad occidental –notablemente a partir de los griegos–, en la que el predominio del pensamiento racional sucede a expensas de la intuición, el arte, la estética, la imaginación y la fantasía.

Una manera indirecta de apuntar en la misma dirección estriba en la posibilidad de formar al pensamiento en términos de lógicas de segundo orden y en general de orden superior, y no ya única y principalmente en términos de la lógica de primer orden (esto es, la lógica de predicados). Como es conocido, las lógicas de orden superior hacen referencia a lógicas relaciones de mayor escala, o también, para decirlo de manera puntual, al trabajo con clases y conjuntos.

Como quiera que sea, subrayar que las ciencias de la complejidad trabajan preferentemente sobre la imaginación –por ejemplo en términos de espacios de configuración, modelamiento y simulación y demás–, no es sino la expresión abstracta del hecho de que las ciencias de la complejidad son ciencias de lo posible. Y más radicalmente, que el trabajo en complejidad consiste en un esfuerzo continuado de creación de mundos, realidades, posibilidades. Justamente por esto, en complejidad no se remite ni se reduce a los esquemas típicos del positivismo: observación, descripción, formulación de hipótesis y demás.

Dicho de manera cruda y simple: el científico de la complejidad elabora modelos –conceptuales, informacionales computacionales, etcétera–, en función de cómo él o ella quisiera que fuera el mundo o las cosas, y comienza entonces a trabajar en la adecuación entre el modelo elaborado y el fenómeno estudiado.

La dificultad estriba en el hecho de que un estilo de trabajo semejante no debe ser simple y llanamente asimilado a subjetivismo craso y expresiones semejantes. Los científicos estudian el mundo, finalmente, además de comprenderlo, para cambiarlo. Y la primera forma de cambiarlo consiste en una excelente explicación del mismo y en una interpretación inteligente, atrevida y novedosa. Solo que, en efecto, esto se dice fácilmente, pero es extremadamente difícil de llevar a cabo.

En fin, la complejidad del mundo consiste, para decirlo desde otra perspectiva, en el craso realismo que parece querer cerrar las puertas, con distintos argumentos, a las posibilidades de la imaginación; en toda la línea. Contra los realismos de toda índole, se trata de situar en el foco el espectro amplio, pero atávicamente ignorado, de las contingencias, la aleatoriedad, los sistemas no-algorítmicos, las emergencias, las percolaciones y la autoorganización. Para decirlo de manera sucinta: pensar un mundo posible, visualizarlo, construirlo y trabajar en función de su realización efectiva. Tal es, grosso modo, la carga y la impronta de la complejidad.

## Bibliografía

- BRENDEL, E., (2003). “Pompas de intuición y el uso adecuado de los experimentos mentales”, en: *Ideas y Valores*, n.º 123, diciembre, pp. 3-24.
- HJORT, B., (2003). “Drawing, Knowledge, and Intuitive Thinking: Drawing as a Way to Understand and Solve Complex Problems”, en: J. Casti and A. Karlqvist (eds.). *Art and Complexity*. Amsterdam: Elsevier, pp. 59-62.
- MALDONADO, C. E., (2013). “Complejidad, pensar, dibujar”, en: *Revista MilMesetas* <http://www.revistamilmesetas.com/complejidad-pensar-dibujar>, 7 de abril.