

AHUMADA, José; PANTALONE, Marzio. Variación ciega, heurísticas y algoritmos genéticos. In: MARTINS, R. A.; MARTINS, L. A. C., p. ; SILVA, C. C.; FERREIRA, J. M. H. (eds.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro*. Campinas: AFHIC, 2004. Pp. 226-231. (ISBN 85-904198-1-9)

VARIACIÓN CIEGA, HEURÍSTICAS Y ALGORITMOS GENÉTICOS

José Ahumada;
Marzio Pantalone *

Resumen – El objetivo de nuestro trabajo es evaluar en qué sentido los algoritmos genéticos pueden aplacar las críticas campbellianas a las computadoras, mostrando que es posible generar programas que por medio del azar produzcan modificaciones no intencionadas sobre las heurísticas de búsqueda: es decir, mostrar que es posible generar estrategias de búsqueda ciega, que a su vez pueden no ser teleológicamente modificadas.

Pero antes debemos decidir (nosotros lo hacemos afirmativamente) si el descubrimiento científico es o no un ejemplo de sac. Una vez aclarado este punto analizamos el peso de la analogía entre la simulación y la cosa simulada, intentando con esto dejar en claro en qué consisten sus similitudes y cómo respetar las diferencias.

Por último, mostramos incidencias del estudio computacional del descubrimiento dentro de filosofía de las ciencias y epistemología de las ciencias. Más que traer a colación ejemplos de la utilización de la simulación en disciplinas científicas, mostramos y evaluamos desarrollos realizados dentro de un ámbito filosófico. Hacemos aquí particular hincapié en los trabajos de algunos integrantes del grupo de investigación al que pertenecemos, y a John Holland, John Koza, Keneth de Jong, y Christopher Langton.

El objetivo de nuestro trabajo es evaluar en qué sentido los algoritmos genéticos pueden aplacar las críticas campbellianas a las computadoras, mostrando que es posible generar programas que por medio del azar producen modificaciones no intencionadas sobre las heurísticas de búsqueda. Es decir, queremos mostrar que es posible generar estrategias de búsqueda ciega, que a su vez pueden no ser

El presente trabajo es parte del proyecto “El descubrimiento científico desde la perspectiva de las reglas heurísticas”, FONCYT.

* Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidade Nacional de Córdoba, CIFYH; FONCYT, Argentina. E-mail: jose@ffyh.unc.edu.ar; mpantale@ffyh.unc.edu.ar

teleológicamente modificadas.

Pero antes debemos decidir si el descubrimiento científico es o no un ejemplo de computación evolutiva. Una vez aclarado este punto analizamos el peso de la analogía entre la simulación y la cosa simulada, intentando con esto dejar en claro en qué consisten sus similitudes y cómo respetar las diferencias.

Por último, mostramos incidencias del estudio computacional del descubrimiento dentro de filosofía de las ciencias y epistemología de las ciencias. Más que traer a colación ejemplos de la utilización de la simulación en disciplinas científicas, mostramos y evaluamos desarrollos realizados dentro de un ámbito filosófico.

¿Se opone o contradice la concepción heurística del descubrimiento a la concepción campbelliana de la creatividad científica? Esta pregunta no es nueva, hace ya más de 40 años se la hacía el propio Campbell en su célebre trabajo “Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge” (CAMPBELL, 1960). ¿Qué tiene de nuevo volver sobre ella? Hay muchas razones que justificarían retomar esta discusión. A diferencia de lo que ocurría en esa época, no es tan simple ahora contraponer las visiones gestálticas y computacional sobre la creatividad en relación con la epistemología evolucionista. Han surgido en estos últimos años nuevos paradigmas computacionales (algoritmos genéticos, computación evolutiva, computación con DNA¹) que nos llevan nuevamente a preguntarnos qué rol juegan la variación ciega y la retención selectiva en los procesos creativos. Ante todo esto, ¿Es posible todavía sostener una concepción heurística de los procesos de descubrimiento? Uno de los argumentos principales es que muchas simulaciones no cumplen un requisito que, dado el marco darwiniano del pensamiento, deberían satisfacer, y es que “[...] una computadora que generara sus propias heurísticas debería hacerlo por medio de un ensayo y error ciego de principios heurísticos, cuya selección representaría el conocimiento general logrado” (CAMPBELL, 1974, p. 431).

EL COMPROMISO CON EL METODO

Los algoritmos genéticos (AG) acuerdan con esta crítica a los sistemas computacionales de tipo heurístico, aunque no necesariamente apoyan una sistemática campbelliana, es decir, no se comprometen con una epistemología evolucionista al estilo Campbell, ni admiten la necesidad de un compromiso ontológico que vincule la simulación con los fenómenos observados en la naturaleza. Holland acepta, por ejemplo, que es posible implementar un modelo computacional que responda a patrones darwinianos, y los simule a través de reglas, pero dice que a las reglas las usa como mecanismo para representar un proceso en el que no necesariamente las reglas están presentes. Las reglas son una herramienta útil para la representación del proceso, pero no implican un compromiso en el sentido de buscar las reglas en la cosa simulada; hacer uso de las reglas para representar un proceso de adaptación, no significa que las reglas estén en el proceso natural. Las reglas son herramientas, no grilletes ontológicos que aten el fenómeno a la simulación.

EL AGENTE DE SIMON Y LOS AGENTES DE HOLLAND

Los parámetros u operadores que restringen el espacio de búsqueda para la resolución de un problema en los programas del tipo heurístico están dados *a priori*; hay conocimiento de base procedural en el agente. En los AG en cambio, el agente (los agentes) es un resolutor ciego, cuya heurística es moldeada completamente en función de la presión medio ambiental a través de

¹ La computación con DNA consiste en sustituir la electrónica por la bioquímica (DNA) como base material sobre la cual se realizan los procesos de cómputo. Esto permite la posibilidad de almacenar más información y mediante técnicas de manipulación genética realizar procesos de cómputo masivamente paralelos (ADLEMAN, 1994).

operadores selectivos o de recombinación y mutación. Todos estos procesos suceden una vez que el agente es enfrentado al medio, el agente no fue construido para solucionar el problema. La construcción del agente en AG parte – como único material – de un grupo de preguntas al medio ambiente, y un grupo de respuestas; pero no hay nada más, ni siquiera un orden en la estructuración de estos elementos. El programa debe inferir por sí mismo – absolutamente – la estructura que mejor adecue los agentes al medio.

EL ESPACIO DE BUSQUEDA

El espacio de búsqueda de los AG los puntos de partida son ubicaciones azarosas de topos ciegos construidos sin teleología, vale decir, no en función de alguna presión medio ambiental. Los programas heurísticos parten de una estructura que delimita de antemano el espacio de búsqueda; adapta estructuralmente a su agente antes de enfrentarlo al medio. La resolución del problema comienza a partir de una estructura en cierto sentido ya coherente con el medio; comienza a partir de una respuesta parcial prefijada, como si el agente ya supiera algo, porque hay una construcción de una red adecuada al medio y porque posee conocimiento de base sobre los elementos de ese medio. A los programas heurísticos ya se les ha enseñado previamente. Al enfrentarlos al medio, modificarán su estructura y aumentarán cualitativa y cuantitativamente su conocimiento de base, pero siempre a partir de la restricción predeterminada del espacio de búsqueda.

Los AG también pretenden aprender y reducir el espacio de búsqueda como heurística general para resolver el problema; pero se llega a la solución de un modo distinto. En los AG no hay reglas aplicadas a *a priori*. No hay conocimiento de base estructurado de modo eficiente por el programador. En los AG se parte de una bolsa desordenada de preguntas, respuestas y conectores. La construcción de la red que solucione el problema corre absolutamente por cuenta de la presión selectiva del medio. Es el medio el que moldea la distribución y presencia de los elementos de un AG. La evolución comienza desde cero, no hay una estructura informada – previamente seleccionada – sobre la que actúe la selección. La coherencia de la estructura de la solución la da el medio, y el conocimiento de base – en forma de memoria – lo construye la presión del medio al seleccionar algoritmos de cada vez mejores *performances*. No hay reducción del espacio de búsqueda previa al contacto con el medio. No hay una estructura cognitiva de base. En el programa de Holland se presupone la existencia de elementos para construir estructuras. En el proyecto de Simon Allen Newell y Herbert Alexander Simon, *Human problem solving* (NEWELL & SIMON, 1972) se presupone una estructura preestablecida de elementos. El programa heurístico presupone una heurística predeterminada de la que da cuenta la simulación. La simulación se limita a desarrollar una heurística, no a descubrirla. En este sentido el programa justifica hipótesis. Los AG en cambio, proponen heurísticas ciegamente y las testean.

ELIMINATIVISMO Y CORRECCION

En el programa de Simon hay una única estructura sometida a un medio. Los cambios que pueden suceder sobre esas estructuras pueden ser, a lo sumo, correctivos; pero no puede haber eliminación de agentes. A lo sumo, una subrutina que reconozca objetos inclasificables, podría desglosarse y construir un nuevo patrón de reconocimiento luego de haberse enfrentado, por ejemplo, a un número n de objetos inclasificables pero con las mismas características y crear así un espacio para los objetos ‘cuadrados con un triángulo azul sobre uno de los lados’. Este procedimiento, eliminaría a esos objetos del grupo de objetos inclasificables y los colocaría en este nuevo esquema. Pero no es, en el fondo, más que una corrección sobre una subrutina del agente. Es decir, en el programa heurístico no

hay eliminación porque hay un único agente que busca y su estructura dura, su 'esqueleto heurístico', es inmodificable. ¿Qué quiere decir que sea inmodificable? Que no existen procedimientos implantados en el programa que posibiliten que la aparición de nuevas rutinas o subrutinas formen parte del agente. A lo sumo, podemos llegar a hablar de recombinación, aunque incluso esto podría ser conceder demasiado.

En los AG en cambio, hay procesos de *eliminación* y de *corrección*. Sobre la población de agentes actúan ambos procesos. Por ejemplo, por medio de una función, el accionar de cada agente es valuado, es decir, a cada agente se le asigna una valuación. Por mecanismos que simulan a la selección natural se escogen a los agentes cuyas valuaciones satisfacen los criterios establecidos y a los que no los satisfacen se los elimina. Con los que restan se aplican mecanismos de recombinación: una sub-rama de uno se corta y se coloca en el espacio que deja haber cortado una sub-rama de otro. Y la sub-rama de este segundo va a parar al espacio vacío del primero. Esto implica recombinar de un modo novedoso la información con que se cuenta. Pero puede aparte, haber introducción de nueva información; esto sucede cuando se aplica mutación sobre un agente. Consiste en quitar una sub-rama y en su lugar, en vez de colocar la sub-rama de otro agente que ha sido seleccionado por su valuación, colocamos una sub-rama construida por la combinación azarosa de bloques de construcción, combinación que no estaba entre la información disponible o que, en todo caso, si resulta que ya estaba presente en otro agente, en esta ocasión no ha surgido por recombinación. Una mutación entonces es una recombinación entre un agente y el azar. La sub-rama del agente es eliminada y en su lugar se coloca esta nueva subrutina. El rol de la mutación es crucial, pues es quien realmente incorpora nueva información al sistema.

En el programa heurístico el resolutor de problemas ni muta ni se recombina, y esto es en gran medida gracias a que ya tiene una estructura – un diseño – estructurado de antemano, y se piensa que es el adecuado para resolver el problema. En los AG, como la estructura no está dada, hay que construirla, es útil contar con combinaciones de subrutinas nuevas y no producidas por el medio, aunque la mayoría sean desechadas.

Los programas heurísticos, por su parte, presuponen la existencia de estructuras iniciales coherentes, *a priori* al enfrentamiento al medio. Esta coherencia es implementada *desde fuera* por el programador. La simulación del aprendizaje da cuenta de cómo busca un sujeto, pero no descubre por sí misma ese mecanismo. Se hace funcionar una máquina, no se descubre una máquina que funcione. Estos programas pueden dar cuenta de la evolución de un proceso cognitivo, pero las bases procedimentales de ese proceso no las descubre el programa.

CRITICA A CAMPBELL: APRENDIZAJE Y ADAPTACION NO SON LO MISMO

La epistemología evolucionista campbelliana supone como hipótesis fuerte que dado el hecho de que un proceso cognitivo humano es un elemento del conjunto de los productos de la evolución, debe satisfacer un grupo de enunciados que se aplican a un proceso evolutivo en general. Como el programa heurístico no cumple estos requisitos, y concluye que es un modo inadecuado de simular procesos cognitivos.

Campbell sugiere que la producción de conocimiento creativo necesariamente requiere procesos de variación ciega y retención selectiva. Necesariamente para producir conocimiento nuevo es ineludible en algún nivel incorporar procesos de variación ciega. Esto podría implicar que no todo descubrimiento científico podría ser entendido desde la perspectiva heurística. Esto no significa que heurística y búsqueda ciega sean incompatibles, pero expresa las limitaciones de las heurísticas para proveernos de conocimiento nuevo. Es decir, necesitamos procesos de variación ciega en algún nivel para generar ideas nuevas.

VARIACIÓN CIEGA

Cuando Campbell dice que es necesario incluir procedimientos de variación ciega en la explicación de un proceso de descubrimiento, quiere decir que la estructura de la información y la estructura de las heurísticas no pueden construirse exclusivamente bajo criterios *a priori*. No hay, de antemano, una estructura para solucionar un problema. Y el proceso que nos lleva a la solución debe variar de continuo, y no según reglas establecidas *a priori*. No hay una fórmula, no hay un catálogo que vincule el estado inicial con el estado final. No hay mecanismos reglados para la reducción del espacio de búsqueda. Las variaciones que se produzcan no pueden justificarse *a priori*.

Pero, no todos los partidarios de una concepción darwinista o evolucionista del descubrimiento están de acuerdo con la vinculación entre los AG y la epistemología evolucionista de Campbell. Por ejemplo para K. Simonton en *Origins of genius: Darwinian perspectives on creativity* (SIMONTON, 1999), los AG y la programación genética se apoyan más en procesos de tipo combinatorios (variación) que en los procesos de mutación. A pesar de que es uno de los primeros en vincular la creatividad darwiniana a programas computacionales de inspiración evolucionista señala la inconsistencia entre los dos modelos del descubrimiento y la creatividad que hemos mencionado, el heurístico y el evolucionista. Como ya se señaló más arriba, Campbell por el contrario, claramente reconoció que estos dos modelos no eran incompatibles sólo que el modelo heurístico no podía dar cuenta del origen de sus propias estrategias de búsqueda.

Pero esto, ¿nos lleva necesariamente a limitar el rol de los procedimientos heurísticos en nuestra concepción del descubrimiento y la creatividad? Parece difícil salir de estas alternativas, la misma caracterización de la creatividad como un proceso o producto totalmente nuevo casi nos obliga en cierto nivel a la incorporación de algún tipo de mecanismos de variación ciega.

Campbell da la versión más consistente de la metodología de ensayo y error no dejando ningún resquicio a la corrección. En otras palabras, no hay corrección en la generación de la novedad sólo hay posibilidades de eliminación. El interrogante que surge es si los AG y la computación con ADN instancian estas consecuencias del modelo Campbelliano. No parece, en principio, haber problema de que esto efectivamente ocurra en los AG, aunque las medidas de ajuste que cada individuo posee dan la posibilidad de que se filtren procedimientos de tipos correctivos. La función de ajuste está en relación a un objetivo y permitiría la eliminación de rango de individuos en función del objetivo planteado. De lo que no hay duda es de que en las computadoras con ADN, computadoras que según Simonton son las que mejor representan los procesos de variación ciega, es inevitable la introducción de procesos de tipo correctivos. Por ejemplo, en la resolución del problema del viajante, donde ciudades y caminos se representan por cadenas de ADN, una vez generada las posibles soluciones los procedimientos de filtrado se hacen en función del objetivo, se eliminan cadenas que por su tamaño no pueden ser solución al problema. Si bien es un tipo negativo de corrección, es indudable el carácter correctivo de este procedimiento.

Estas consideraciones no fueron ajenas al debate sobre el descubrimiento científico en la década del ochenta, pero fueron desvalorizadas o absorbidas por lo que se conoció como contexto de prosecución. Se admitían las críticas de Campbell a los modelos normativos como una teoría general del descubrimiento científico, y se trataba de salvar la preocupación filosófica del descubrimiento identificando los procesos correctivos con los procesos de tipo proscutivos. No se entendió tal como lo señala Blachowicz (1998), la complejidad o las sutilezas con que se relacionan la eliminación, la corrección y la generación. Donde más claramente se vieron estas limitaciones es en los trabajos sobre abducción donde normalmente se desechaba cualquier versión generacionista de las mismas. No es casual que uno de los últimos intentos en ofrecer una versión coherente del descubrimiento desde una perspectiva evolucionista como es *Scientific discovery: logic and tinkering* de A. Kantorovich (1993) haya implícitamente asumido que cualquier forma de resolver problemas con dirección a un objetivo

sea correctiva y por lo tanto heurística. La salida de Kantorovich para evitar estas consecuencias indeseadas, que lo obligan a apartarse de una epistemología evolucionista, fue sostener de un modo poco convincente y hasta diríamos *ad hoc*, que todos los grandes descubrimientos (revolucionarios) tuvieron en algún grado *serendipity*. Es decir, fueron descubrimientos que se obtienen al buscar algo distinto de lo obtenido. Si bien esta salida de algún modo logra mantenerse dentro de una estructura evolucionista lo hace al precio de tener que otorgarle un rol importante al conocimiento tanto temático como de fondo. En otras palabras, como no es posible sostener un esquema no propositivo de la actividad científica, hay que admitir esquemas de descubrimiento tipo *serendipity*, pero esto último tal como la mayor parte de los ejemplos nos muestran, nos lleva a tener que darle al conocimiento un rol central debido a que estos procesos son aprovechados exclusivamente por mentes preparadas.

CONCLUSIÓN

Nuevos paradigmas computacionales han llevado a un plano artificial algunos aspectos la concepción del descubrimiento y la creatividad de la epistemología evolucionista. Esto abre la posibilidad de comparar de un modo más sistemático el rol de las heurísticas en estos modelos en relación con los programas de descubrimiento. La ventaja de los AG, y en especial la programación genética J. Koza, *et al.* (2001), es que ofrece procedimientos para generar o producir heurísticas sin intervención humana. La duda que nos queda es si es posible hacerlo sin recurrir a la heurística medio-fin usando procesos de corte irreductiblemente eliminativos. Esto, por supuesto, no significa que deba descartarse la necesidad de la variación ciega en los procesos de tipo generativo, sólo significa que pueden estar inextricablemente ligados procesos de tipo correctivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLEMAN, L. Molecular computation of solutions to combinatorial problems. *Science* **266**: 1021-1024, 1994.
- BLACHOWICZ, J. *Of two minds the nature of inquiry*. Albany, NY: State University of New York, 1998. (SUNY Series in Philosophy)
- CAMPBELL, D. Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge. *Psychological Review* **67**: 380-400, 1960.
- . Evolutionary epistemology. In: SCHILPP, P. A. (ed.). *The philosophy of Karl R. Popper*. Chicago: Open Court, 1974. Pp. 413-463.
- KANTOROVICH, A. *Scientific discovery logic and tinkering*. Albany, NY: State University of New York, 1993. (SUNY Series in Philosophy and Biology)
- KOZA, J.; FORREST, H.; BENNET III, D.; KEANE, M. Genetic programming: biologically inspired computation that creatively solves non-trivial problems. In: LANDWEBER, L. F.; WINFREE, E. (eds.). *Evolution as computation*. Berlin: Springer, 2001.
- NEWELL, A.; SIMON, H. A. *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1972.
- SIMONTON, D. K. *Origins of genius: Darwinian perspectives on creativity*. New York: Oxford University Press, 1999.