

Método
Grupo Transdisciplinario de
Investigación en Ciencias Sociales
www.grupometodo.org

Borradores de Método

Área de Metodología
ISSN: 1692-9667

Virus, algoritmos y funcionalismo

Eduardo Salcedo Albarán
David Alberto Sastre P.

Documento 29
Agosto 31 del 2004

BORRADORES DE MÉTODO es un medio de difusión de las investigaciones del Grupo Método. Estos documentos son de carácter provisional, de responsabilidad exclusiva de sus autores y sus contenidos no comprometen a la institución.

Borradores de Método. No 29. Agosto 31 del 2004.
Editor Fundación Método
Colección Metodología

© Eduardo Salcedo Albarán y David A. Sastre P.
Virus, algoritmos y funcionalismo

© Fundación Método. Carrera 8ª. No 37-10. ofi: 501. Telefax: (571) 4005765
2003. Todos los derechos reservados.
Primera edición 2003.
Impreso en Bogotá, Colombia.

Virus, algoritmos y funcionalismo

Los virus habitan el mundo y se encuentran entre lo viviente y lo no viviente, las moléculas que pueden duplicarse por sí mismas y las que no. (...) Todas las formas vivientes emplean dos categorías de químicos, uno que almacena la información y un segundo que actúa, basado en esa información, para duplicar el organismo
- Levine.

Eduardo Salcedo Albarán y David Alberto Sastre P.

Resumen

El objetivo de este trabajo es proponer una interpretación de los virus a la luz del marco conceptual del funcionalismo. En la medida en que esto sea posible, el funcionalismo puede interpretarse como una explicación con sustento biológico. De esta manera, pretendemos mostrar que las técnicas de infección de los virus obedecen a un patrón que podría caracterizarse e interpretarse como funcionalista porque permite la distinción entre el soporte lógico y el soporte físico de un sistema. El artículo consta de cuatro partes. En la primera parte hacemos una breve explicación del funcionalismo. En la segunda parte presentamos la interpretación del gen como unidad principalmente informacional instanciada en el DNA, que es el medio de almacenamiento de dicha información. En la tercera parte se exponen las principales características morfológicas y conductuales de los virus. Se concluye que las técnicas de infección de los virus se caracterizan por una separación entre el soporte físico y el soporte informacional; esto quiere decir que en la naturaleza sí es posible encontrar información que puede pasar de un medio físico a otro. Esta última será la conclusión principal de este artículo aunque, de manera adicional, se desprende una refutación a la postura de Searle, quien asegura que en la naturaleza es imposible descubrir algún tipo de computación o información si no es de manera relativa a los observadores.

El objetivo de este trabajo es proponer una interpretación de los virus a la luz del marco conceptual del funcionalismo. En la medida en que esto sea posible, el funcionalismo puede interpretarse como una explicación con sustento biológico. De esta manera, pretendemos mostrar que las técnicas de infección de los virus obedecen a un patrón que podría caracterizarse e interpretarse como funcionalista porque en dichas técnicas se hace evidente la distinción entre el soporte lógico y el soporte físico. El artículo consta de cuatro partes. En la primera parte explicamos brevemente el funcionalismo, especialmente el funcionalismo mental. En la segunda parte presentamos la interpretación del gen como unidad informacional instanciada en el DNA, que es el medio de almacenamiento de dicha información.¹ En la tercera parte se exponen las principales características morfológicas y conductuales de los virus; esta exposición se hace con el objetivo de familiarizar al lector con las fases de infección en las que se evidencia y posibilita la distinción funcionalista que pretendemos resaltar en nuestra argumentación. Se concluye que las técnicas de infección de los virus se caracterizan por una separación entre el soporte físico y el soporte informacional; esto quiere decir que en la naturaleza sí es posible encontrar al menos un tipo de fenómeno en el que se observa una clara distinción entre la parte física y la parte lógica de un sistema y que, por lo tanto, sí es posible encontrar en la naturaleza información que puede pasar de un medio físico a otro. Creemos que la idea de interpretar al gen como una unidad puramente informacional, que pasa de un organismo a otro, es suficiente evidencia de una especie de funcionalismo genético; no obstante, creemos que el proceso de replicación de los virus, sobre todo la etapa en que el virus debe deshacerse de su soporte físico para permitir la ejecución de la información que porta, es una evidencia aún más fuerte para dicho funcionalismo genético. Esto, por supuesto, no implica de manera directa que la mente puede entenderse mediante el funcionalismo; sin embargo, es más fácil aceptar la posibilidad de que la mente sí consiste en un programa ejecutado en un medio físico si se acepta que en la naturaleza es posible encontrar fenómenos que se comportan de esta manera. Esto permitiría, de igual manera, y aunque no es el principal objetivo del presente escrito, examinar la postura de Searle, quien asegura que es imposible que la mente consista en un programa ejecutado porque en la naturaleza es imposible hallar algún tipo de computación; en otras palabras, para Searle, es imposible descubrir algún tipo de fenómeno que consista, intrínsecamente, en computaciones ejecutadas. Esta idea podría replantearse a la luz de la posible distinción funcionalista que pretendemos evidenciar en el caso de los virus.

¹ Debemos aclarar que esta interpretación no es novedosa y, por el contrario, es ya una idea aceptada en el cuerpo teórico de la biología.

1. El funcionalismo

1.1. El funcionalismo mental

El funcionalismo ha sido ampliamente usado como un marco explicativo para el funcionamiento y la naturaleza de la mente. Es una tesis que flexibiliza sus consideraciones acerca de la composición física necesaria para afirmar que un proceso puede ser considerado como mental. En esta postura se asegura que los procesos mentales se pueden describir en términos de sus implicaciones causales. Esto quiere decir que un proceso mental se caracteriza por sus implicaciones causales al igual que un pisapapel se caracteriza por sus implicaciones causales, a saber, sostener los papeles para que no se vuelen. En palabras de Block, otra idea central del funcionalismo es la siguiente:

Cada tipo [*type*] de estado mental es un estado que consiste en una disposición a actuar de ciertas maneras y a tener ciertos estados mentales, dados ciertos *inputs* sensoriales y ciertos estados mentales.²

De esta manera, el funcionalismo, si bien ha sido útil para comprender la naturaleza de la mente humana, no consiste, únicamente, en una explicación de la mente.³ Así pues, en la medida en que lo relevante es el establecimiento de las relaciones causales al interior de un fenómeno, el funcionalismo permite comprender la naturaleza de una amplia gama de objetos. De esta manera, si preguntamos qué es un carburador, en términos funcionales podríamos definirlo como aquello que mezcla gasolina y aire en un motor; esto quiere decir que un carburador puede definirse como un concepto funcional en términos de sus relaciones causales, a saber, mezclar gasolina y aire. Ahora bien, una de las preguntas más importantes con respecto al funcionalismo ha sido si este tipo de explicación puede hacerse extensivo al caso de la mente. Puede pensarse que sí y que, por lo tanto, el cerebro en realidad ejecuta cierto tipo de tareas formalizables e instanciables en una máquina,⁴ definidas en términos de sus relaciones causales; esto quiere decir que el cerebro puede interpretarse como una máquina computadora que ejecuta algoritmos.⁵ Así, el funcionalismo ha recurrido a las máquinas como punto de referencia de su explicación, porque en ellas se puede distinguir claramente entre las relaciones causales de las funciones desarrolladas únicamente por el soporte físico y las funciones desarrolladas únicamente por el soporte lógico. Esto quiere decir que una de las distinciones más importantes del

² Ver Block, *Las dificultades del funcionalismo*, pág. 105.

³ Cfr. Block, *What is functionalism*; Cfr. Fodor, *El problema cuerpo-mente*.

⁴ Para una noción básica de algoritmo Cfr. Penrose, *The Emperor's New Mind*.

⁵ Una de las primeras y más importantes propuestas de la idea de que la mente puede interpretarse como una máquina computadora que ejecuta algoritmos fue Alan Turing. Cfr. Turing, *Computing machinery and intelligence*.

funcionalismo consiste en diferenciar entre el soporte físico y el soporte lógico del sistema que se desea explicar; entre el programa y el sistema físico en que se ejecuta el programa.

1.2. Realización de estados funcionales

Según Block, las teorías fisicalistas previas al funcionalismo están relacionadas con las siguientes cuestiones: (1.) lo que hay; (2.) lo que hace que un tipo de estado mental sea ese estado mental.⁶ La primera de estas cuestiones puede interpretarse como ontológica y la segunda como metafísica. Las respuestas a la cuestión metafísica consisten en afirmar, desde el dualismo⁷, que hay dos sustancias, la mental y la física, y desde el materialismo, que sólo hay una sustancia, a saber, la física. Ahora bien, el funcionalismo responde la cuestión (2.) sin responder la (1.), pues muestra lo que tiene en común un estado mental determinado, a saber, su función, mientras que no muestra si los organismos portadores de dichos estados mentales deben contar con cierto tipo de estructura material. Por esta razón se puede asegurar que lo verdaderamente relevante para el funcionalismo es la programación de la máquina y no el material en que se instancia dicho programa. Como señalamos en la sección anterior, el funcionalismo permite diferenciar entre el soporte puramente lógico y el soporte puramente físico del sistema en que se realiza la parte lógica; a esta idea es necesario sumarle la relevancia del soporte lógico sobre el físico. Al momento de hablar de relaciones causales funcionalmente relevantes, lo más importante hace referencia a las especificaciones de transformaciones del sistema consignadas en el programa. De esta manera, se desprende la flexibilidad que hace del funcionalismo el posibilitador de la Inteligencia Artificial (I.A.), a saber, que los estados mentales puedan realizarse en cualquier tipo de material.

El funcionalismo de máquinas permite distinguir entre el programa y el sistema físico en que se ejecuta el programa y, como el programa no es más que un cúmulo de especificaciones lógicas o algoritmos, entonces se sigue que estas especificaciones pueden realizarse sobre cualquier tipo de material. Esto quiere decir que un estado de la máquina puede ejecutarse sobre cualquier material que permita su realización; un estado puede realizarse de distintas maneras en distintos materiales. Pero esta distinción entre el soporte físico de la realización del estado y la programación no física, no implica un dualismo de sustancias. Si bien es posible distinguir entre el soporte físico y programa –y esta es la ventaja que resulta de acudir a las máquinas–, el programa, para que pueda realizarse, siempre tiene que estar soportado por algún tipo de material. En el dualismo de sustancias también se defiende una distinción radical entre la parte material y la parte inmaterial del hombre, sin embargo, a diferencia del funcionalismo, en el dualismo es posible la pervivencia, existencia y realización de la parte inmaterial sin necesidad de contar con un soporte físico; de aquí, que los atributos de la parte pensante estén íntimamente relacionados con los atributos del alma, la cual es inmortal. En el dualismo, la parte

⁶ Cfr. Block, *What is Functionalism?*

⁷ Cfr. Descartes, *Meditaciones metafísicas*. Cfr. Descartes, *Principios de filosofía*.

inmaterial del hombre no solamente es distinguible y separable de la parte material, sino que no necesita de dicha parte material para su realización.⁸ Contrario a esto, en el funcionalismo, el programa de una máquina siempre necesita un soporte físico para ejecutarse; el hecho de que el soporte físico varíe y, en este sentido, sea irrelevante para el funcionamiento de la máquina, no implica que no se necesite ningún tipo de soporte físico para que la máquina funcione. Puede interpretarse el funcionalismo como una forma de dualismo; sin embargo, al reconocer el carácter relevante de la parte material, sin importar lo que dicha parte material sea –cuerpo humano, cerebro, silicio o latas de cerveza–, se puede distinguir conceptualmente la postura funcionalista de la dualista. De esta manera, si el caso de los estados de la máquina se hace extensivo a la interpretación de los estados mentales, entonces se puede afirmar que un estado mental puede realizarse en cualquier tipo de material y, en esta medida, el material cerebral es irrelevante; sin embargo, esto no quiere decir que no se requiera ningún tipo de material para que el pensamiento se realice.

Lo anterior quiere decir que para el funcionalismo el *hardware* es irrelevante en un sentido pero relevante en otro; por una parte, es irrelevante porque este *hardware* puede ser cualquier tipo de material y, en esta medida, no es necesario determinar si el pensamiento requiere cerebros o silicio para su realización; por otra parte, es relevante porque siempre será necesario contar con algún tipo de *hardware* que permita la realización del estado mental pues, en el funcionalismo, el estado mental –o la programación– no puede realizarse o instanciarse en un medio etéreo.

2. Genoma, información y algoritmos

2.1. El gen es información

Puede pensarse que al hablar de gen se habla de un objeto físico; sin embargo, en realidad los genes consisten básicamente en información. Como estamos hablando de funcionalismo y no de dualismo, entonces la información que especifica las transformaciones del sistema físico siempre tienen que estar dentro de un medio físico y, por este motivo, puede pensarse que en realidad sólo hay medio físico y no hay información; puede pensarse que en realidad la estructura física del sistema basta para explicar sus propias transformaciones;⁹ sin

⁸ Para una breve introducción al dualismo. Cfr. Bechtel, *Filosofía de la mente*.

⁹ Un ejemplo de esto es la postura de Searle en la que se asegura que, en el caso del cerebro, la biología, en tanto parte física, basta para explicar las propias transformaciones del sistema y, por lo tanto, basta para explicar la generación de estados mentales y de la conciencia. Para Searle, si la conciencia está relacionada con las transformaciones del sistema cerebral, entonces no hay motivo para pensar que dichas transformaciones sean el resultado de ciertas especificaciones informacionales; es decir, la conciencia no consiste en un programa que se ejecuta en el hardware del cerebro. Cfr. Searle, *The rediscovery of the Mind*.

embargo, como mostraremos más adelante, cuando se habla de gen, se habla de una serie de especificaciones puramente informacionales que especifican las transformaciones del sistema físico, en este caso, del organismo. De esta manera, si bien los genes se encuentran completamente asociados a un material biológico, es correcto afirmar que lo verdaderamente importante en cuanto a su definición no es el material en que se encuentran sino la información que, como hemos mostrado hasta ahora, debe estar almacenada y ejecutada en algún tipo de material:

El gen es un paquete de información, no un objeto. El patrón de los pares de bases en una molécula de DNA especifica al gen. Pero la molécula de DNA es el medio, no el mensaje. Mantener esta distinción entre el medio y el mensaje es absolutamente indispensable para esclarecer el pensamiento acerca de la evolución. El proceso constante de transferir información de un medio físico a otro, y después ser capaz de recobrar la misma información en el medio original, conlleva a la separación de materia e información. En biología, cuando se habla de cosas como genes y genotipos y *pools* de genes, se está hablando acerca de información, no de la realidad objetivamente física. Son patrones. (...) Considérese el libro *Don Quijote*: una pila de papel con marcas de tinta en las páginas, sin embargo, usted podría colocarlo en un CD o un casete y convertirlo en ondas de sonido para gente ciega. No importa en qué medio se encuentre, es siempre es el mismo libro, la misma información. (...) Comparar un gen con un individuo, por ejemplo (...), es inapropiado si por individuo usted quiere decir un objeto material y por gen usted quiere decir un paquete de información.¹⁰

2.2. El DNA como medio de almacenamiento del programa

Hasta este punto se puede concluir que la molécula de DNA consiste en un medio físico de almacenamiento y ejecución de los genes; es decir, los genes consisten en información interpretable como algoritmos y el DNA es el medio en que se almacena esa información. La molécula de DNA se encuentra en cada una de las células, las cuales son las unidades funcionales más básicas de cada organismo; de esta manera, cada célula cuenta con una copia de la información genética almacenada en su núcleo¹¹. Esto quiere decir que cada célula cuenta con una copia de los algoritmos cuya ejecución permiten el desarrollo físico y comportamental de un organismo:

Nuestro DNA vive dentro de nuestros cuerpos. No está concentrado en una parte particular del cuerpo (...). Este DNA puede verse como un grupo de instrucciones acerca de cómo hacer un cuerpo, escritas en el alfabeto A, T, C, G de los nucleótidos.¹²

De esta manera, hablar de gen como información y del DNA como el medio en que se almacena e instancia dicha información no es una excentricidad conceptual; por el

¹⁰ Ver Williams, *A package of information*, pág. 42.

¹¹ Esto no quiere decir que la única información genética que se puede encontrar en la célula es la que está almacenada en el núcleo, pues es posible encontrar fracciones de DNA al interior de algunos organelos.

¹² Ver Dawkins, *The Selfish Gene*, pág. 22

contrario, es un hecho aceptado en la biología básica.¹³ Así pues, en la medida en que el DNA y los genes se puedan interpretar e incluso definir como información, entonces la distinción funcionalista entre soporte lógico y soporte físico se posibilita en este campo. Esto quiere decir que las especificaciones incluidas en las combinaciones de los pares de bases de los ácidos nucleicos consistirán en el programa que, como todo programa, puede almacenarse e instanciarse en cualquier tipo de material que sea causalmente suficiente. Esto, por supuesto, no quiere decir que la información incluida en el DNA pueda instanciarse en cualquier tipo de sistema físico; tan solo quiere decir que un sistema físico que sea lo suficientemente complejo, en términos causales, podrá instanciar y ejecutar aquella información consistente en algoritmos.¹⁴ La molécula de DNA es lo suficientemente compleja como para almacenar la información y, de igual manera, un cigoto es suficiente, en términos causales, como para permitir la ejecución de las especificaciones y permitir el desarrollo embrionario; esto quiere decir que la información consignada en la molécula de DNA permite la ejecución de los algoritmos que dan como resultado la parte física y parcialmente comportamental del organismo.¹⁵

Ahora bien, el hecho de que la información consignada en la molécula de DNA consiste en algoritmos se encuentra respaldado teóricamente por trabajos que hacen una interpretación de los pares de bases como constituyentes de secuencias expresables y formalizables en algoritmos¹⁶. También cabe anotar que esta interpretación informacional del DNA no solamente se ha desarrollado teóricamente, sino que está sustentada por experimentaciones que “han estimulado interés en cómo los procesos biomoleculares pueden programarse para portar algoritmos lógicos”¹⁷.

Podría pensarse hasta este punto que el simple hecho de reconocer que el DNA es un medio orgánico en el que se almacenan una serie de instrucciones y algoritmos es evidencia suficiente para sustentar una forma de funcionalismo y, por lo tanto, aceptar el funcionalismo como una explicación que coincide con algunos fenómenos biológicos. No obstante, a continuación deseamos fortalecer dicha evidencia mostrando la dinámica mediante la cual los virus, al infectar las células de un organismo, liberan el DNA que portan para que las instrucciones que se encuentran consignadas en el material genético

¹³ Esta idea es tan básica para el cuerpo teórico de la biología contemporánea, que puede encontrarse en cualquier libro de texto, por ejemplo, *Cfr.* Purves, Sadava, Orians y Heller, *Life*, pág. 49

¹⁴ Según Chalmers, es incorrecto afirmar que cualquier sistema físico puede instanciar cualquier tipo de computación pues es necesario que el sistema físico posea las capacidades causales necesarias y suficientes para instanciar las computaciones. De esta manera, debe haber cierta correspondencia de proporcionalidad entre las posibilidades causales del sistema físico y las computaciones que se ejecutan en dicho sistema. *Cfr.* Chalmers, *A Computational Foundation for the Study of Cognition*.

¹⁵ Esto, por supuesto, no quiere decir que haya una separación radical entre el aspecto puramente físico y el aspecto puramente comportamental del organismo, pues es claro que la conducta y la vida mental de cada organismo estarán determinadas, en gran parte, por la estructura del sistema nervioso que resulte de las transformaciones especificadas; esto quiere decir que las especificaciones de transformaciones del sistema físico determinarán, en gran parte, la conducta del organismo. Decimos que “en gran parte” y no “en su totalidad” porque los factores desencadenantes del medio también tendrán influencia en la formación de la vida mental y del comportamiento del organismo.

¹⁶ *Cfr.* Dirks, Lin, Winfree, Pierce, *Paradigms for computational nucleic acid designs*.

¹⁷ Ver Winfree y Bekvolato, *Proofreading Tile sets: Error Correction for Algorithmic Self-Assembly*.

sean ejecutadas en la maquinaria celular; de esta manera, a nuestro parecer, la radical distinción entre la información - que se libera de la cápside del virus y luego se ejecuta intracelularmente - y el material en que se porta dicha información, queda completamente sustentada con la exposición de la dinámica que a continuación presentamos.

3. Virus y algoritmos

3.1. El virus como algoritmo flotante

Las enfermedades causadas por virus han incrementado de manera considerable y, tal vez por este motivo, su naturaleza ha sido investigada intensamente en las últimas décadas. Esto se puede observar en el hecho de que estamos familiarizados con el concepto; aparece normalmente en nuestro lenguaje cotidiano y, además, a lo largo de nuestras vidas han ocurrido y continuarán ocurriendo episodios virales. Para todos nosotros es familiar hablar acerca de viruela, influenza, hepatitis, polio y otros virus aún más severos como VIH, ébola o virus hanta. Algunos de estos han sido controlados a nivel mundial mediante medicamentos y jornadas de vacunación; sin embargo, otros aún no tienen cura, pues gracias a sus altas tasas de mutación¹⁸ y su incapacidad para corregir su maquinaria replicativa¹⁹, están en posibilidad de generar gran cantidad de variaciones para sobrevivir y producir suficientes copias de sí mismos, cada vez más resistentes. Ahora bien, los virus no están presentes solamente en animales, pues también existen virus de plantas que son capaces de causar un impacto económico negativo y afectar directamente nuestras fuentes de alimentación. Lo anterior evidencia que la propia biología de los virus los ha hecho lo suficientemente resistentes como para vivir incluso en el interior de una bacteria; esto indica que los virus pueden interpretarse como objetos biológicos altamente eficientes en cuanto a su capacidad replicativa y tamaño. A su vez, esta capacidad replicativa nos lleva a pensar que la carrera evolutiva²⁰ entre todos los seres que poseen material genético, está siendo ganada por los virus que han generado un alto número de mecanismos de infección y supervivencia que los ha convertido en organismos versátiles y eficientes; al menos, es

¹⁸ Estas tasas de mutación son aún mayores en virus que utilizan RNA como material genético. Numerosos autores han explorado este concepto en detalle y han concluido que la rata de divergencia de los genomas compuestos por RNA viral a nivel nucleotídico es de 0.03% a 2.0% por nucleotido por año, una rata cerca de un millon de veces la rata para genomas eucariotas de DNA. Cfr. Fields, Knipe y Howley, *Fields virology*, pág. 164.

¹⁹ La polimerasa que usan los virus no tiene corrección; esto quiere decir que si se generan errores mientras están en proceso de duplicación o se transcribe y ocurre algún error, este error no se va a corregir y, a su vez, va a generar mas variación

²⁰ Algunas carreras evolutivas son también denominadas carreras armamentísticas. Cfr. Dawkins, *The Selfish Gene*.

correcto afirmar que los virus son organismos miles de veces más versátiles en términos de supervivencia que los humanos.

Un virus generalmente está compuesto por una envoltura proteica llamada cápside que encierra un núcleo que contiene en su interior el material genético. Dicho material genético es portador de la información necesaria para producir más virus, almacenar y generar los cambios que le permitirán evolucionar; por otra parte, la cápside protege al virus del ambiente externo y las proteínas que en ella se encuentran le permiten al virus adherirse y entrar a diferentes células hospederas²¹; el material genético está encerrado en una envoltura llamada nucleocápside. Para fines de nuestra argumentación, simplificaremos nuestros pronunciamientos acerca de la estructura morfológica del virus; basta señalar que están conformados por cápside y *core*. Su tamaño es variado pero oscila alrededor de los 100 nm. Para hacernos una idea de lo que dicho tamaño representa, podemos pensar en el de una célula bacteriana que alcanza los 1000 nanómetros y un poco más; de hecho, el tamaño de un virus es menor que el de una mitocondria, que es un organelo celular. Esto evidencia que el tamaño de un virus, regularmente, es menor al tamaño de los organelos celulares.²²

3.2. Liberación de información

El hecho de que un virus sea morfológicamente simple tiene una implicación directa: no puede reproducirse sin ayuda de una célula hospedera; esto quiere decir que un virus o una población de virus no puede reproducirse si no es utilizando la maquinaria celular. Los virus carecen de organelos o aparatos especializados y únicamente portan material genético protegido. Este material genético, como vimos líneas atrás, consiste en instrucciones y algoritmos; de esta manera, podemos llegar a la conclusión de que un virus no es más que ciertos algoritmos protegidos por una cápside,²³ que están en constante búsqueda del *hardware* necesario para replicarse. De hecho, se puede aproximar la cantidad de información portada por un viroide simple:

El viroide más simple contiene solamente 240 bits de información, cerca de diez millones de veces menos que la información contenida en el genoma humano (tres billones de bits). Estos 240 bits están dispuestos en un cromosoma circular (el equivalente del medio del almacenamiento del computador) y contiene un conjunto de señales que le permiten a la molécula duplicarse a sí misma.²⁴

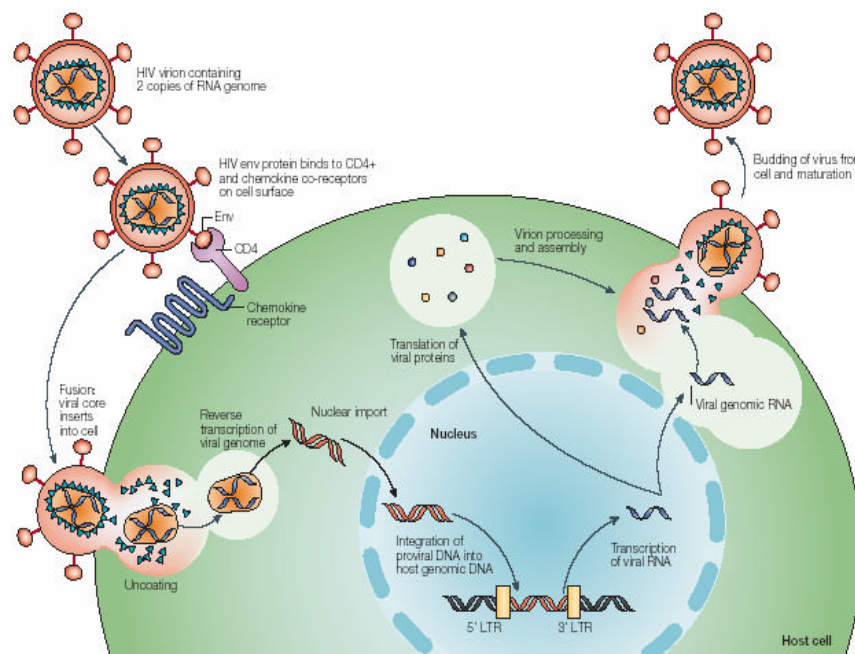
²¹ Para propósitos de nuestra argumentación estamos simplificando los mecanismos de entrada a la célula hospedera ya que lo que nos importa resaltar aquí es la liberación del material genético dentro de la célula.

²² El tamaño y el hecho de que no puedan crecer ni reproducirse por ellos mismos, son las razones que hacen pensar que cuando hablamos de virus no estamos hablando de un ser vivo. No obstante, cuando se indaga acerca del origen y evolución de los virus, se llega a la conclusión de que, desde cierta perspectiva, pueden interpretarse como organismos vivos. *Cfr. Levine, Viruses.*

²³ Esto, en la medida en que la cápside protege al DNA o al RNA, que es el medio en que se almacenan los algoritmos.

²⁴ Ver Levine, *Viruses*, pág. 2.

El DNA consiste en una molécula de información autoreplicativa y, en la medida en que el virus es portador de DNA o RNA, entonces su afán también es el de autoreplicarse. Pero el virus no puede autoreplicarse por su cuenta y, para tal efecto, requiere algún tipo de maquinaria. De esta manera, la maquinaria que la información portada en los virus requiere para cumplir sus propósitos autoreplicativos, es la celular. Una vez en contacto con la célula, el virus libera sus algoritmos para que estos comiencen a ejecutarse; ejecución que tendrá como resultado final la producción de miles y miles de copias de sí mismo, que saldrán de cada una de las células inicialmente infectadas; a su vez, cada una de las nuevas copias realizará la misma tarea de liberación y ejecución de algoritmos en las células que no han sido utilizadas. A continuación se presenta una ilustración del ciclo de vida del virus del VIH:



Ciclo de vida del virus del VIH²⁵

El resultado de toda esta dinámica de autorreplicación del virus es lo que conocemos como el deterioro celular que va acompañado de toda infección viral. Así pues, a grandes rasgos, la infección consiste en entrar a la célula, deshechar la cápside y la nucleocápside, liberar el DNA o el RNA y ejecutar la información genética.

Si bien los virus han diseñado distintos mecanismos evolutivos para ingresar a una célula, al final el resultado siempre es el mismo: el paso del material genético del virus al citoplasma de la célula hospedera. Cuando el material genético logra ingresar, el virus se convierte en un parásito celular que es capaz de aprovechar la maquinaria utilizada por la célula para dos eventos principales: la síntesis de nuevas proteínas que se irán expresando

²⁵ Fuente: Rambaut, Posada, Crandall y Holmes, *The Causes and Consequences of Hiv Evolution*, pág. 53. En esta ilustración se observa cómo el virus penetra en la célula hospedera para liberar su material genético y, como resultado final, se obtiene una copia del virus inicial.

secuencialmente y la replicación o duplicación de sus ácidos nucleicos con el fin de producir una nueva progenie.

Ya dentro de la célula, el virus decide si expresar su material genético al mismo momento de su entrada o permanecer dormante por un tiempo hasta encontrar el momento más oportuno para comenzar a actuar.²⁶ Cuando esto sucede, principalmente se dan tres pasos para el ciclo latencia-reactivación: establecimiento, mantenimiento y reactivación. El establecimiento incluye la entrada del genoma viral a la célula blanco. Los genes virales se apagan por completo, excepto por un transcrito asociado a latencia (LAT). Este estado se puede mantener durante toda la vida del hospedero; sin embargo, eventos externos como inmunosupresión y estrés, entre otros, pueden reactivar el ciclo infeccioso del virus. La habilidad para reactivarse a partir de la latencia resulta en la ocurrencia de la enfermedad y transmisión del virus.²⁷ Dado este suceso, se puede pensar que los virus a través de la evolución han ido adaptándose tanto a nivel micro como macro. A nivel micro, porque son capaces de desarrollar mecanismos moleculares para burlar el sistema inmune del organismo hospedero y, a nivel macro, por que son capaces de aprovechar eventos que se han ido generando en la forma de vida de sus hospederos como el estrés.

4. Computaciones y sistemas físicos

En la primera parte de este artículo hicimos una breve presentación del funcionalismo mental; así pues, con base en el funcionalismo, se puede asegurar que lo verdaderamente importante de la información, los algoritmos o las computaciones, no es el material físico en que se ejecutan, sino el hecho de que pueden ejecutarse en cualquier tipo de material.²⁸ Al respecto, John Searle asegura que esta es una idea errada porque en realidad cualquier sistema físico podría interpretarse como ejecutando cálculos²⁹; de hecho, él está convencido de que en la biología es imposible descubrir algún tipo de cálculo pues la sintaxis no es intrínseca a la física.³⁰ De esta manera, Searle concluye que en la naturaleza no es posible encontrar computación alguna y que, por lo tanto, la presencia de

²⁶ Este mecanismo se conoce como latencia y ha sido usado por virus como leucosis aviar, citomegalovirus, virus de Epstein-Barr, herpesvirus y varicela zoster, entre otros.

²⁷ Cfr. Jones, *Herpes Simplex Virus Type 1 and Bovine Herpesvirus 1 Latency*.

²⁸ Esta idea ha sido utilizada para sustentar la posibilidad de que la mente humana consista en una correcta combinación entre *software* y *hardware*.

²⁹ Cfr. Searle, *Mentes, cerebros y programas*, pág. 90.

³⁰ Según Searle, la sintaxis no es intrínseca a ningún sistema físico y, por lo tanto, ninguna computación puede ser intrínseca a un sistema físico. La argumentación desarrollada a partir de dicha idea consiste en lo siguiente: "(1) la sintaxis es relativa al observador y (2) todas las características de la computación, en tanto computación, son exclusivamente sintácticas" [Ver Moyal, *The Chinese Room Argument*, pág. 238], ergo, la computación sólo puede ser relativa al observador.

computación es un rasgo que resulta únicamente de los observadores.³¹ Ahora bien, para refutar esta idea, basta con dar una mirada a los virus y a sus mecanismos de replicación.

Parece completamente aceptado por la biología que la molécula de DNA es puramente informacional; es decir, es un medio en el que se almacenan ciertos algoritmos o patrones informacionales; ahora bien, no solamente la biología acepta que la molécula de DNA consiste en un medio de almacenamiento, pues investigaciones del campo de la electrónica y la robótica también han dejado en evidencia las capacidades de almacenamiento del DNA como posible material que permitiría superar las limitaciones económicas y de almacenamiento impuestas por la computación cuántica.³² Así pues, se ha llegado a concebir la información y los algoritmos como centrales en la biología:

La información y los algoritmos parecen ser centrales en la organización y los procesos biológicos, desde el almacenamiento y reproducción de la información genética hasta el control y procesos de desarrollo de las sofisticadas computaciones realizadas por el sistema nervioso. Gran parte de la tecnología humana utiliza desde microprocesadores eléctricos hasta dispositivos electromecánicos, [mientras que] organismos biológicos usan circuitos bioquímicos para controlar los eventos moleculares y químicos.³³

Esta idea, a su vez, está sustentada por los análisis algorítmicos y computacionales de los pares de bases de los ácidos nucleicos y por la similitud entre la polimerasa y la máquina de Turing, propuesta por Adleman.³⁴ De esta manera, si se acepta que la molécula de DNA es puramente informacional y que un virus solamente porta DNA o RNA, entonces la conclusión a la que se llega es que el virus es un medio de transmisión y difusión de algoritmos; el virus, en realidad, es un organismo que únicamente porta información y algoritmos autoreplicativos. A su vez, el hecho de que el virus sea portador de, únicamente algoritmos, se refleja en que él, por su propia cuenta, es incapaz de autoreplicarse. Según lo expuesto en la tercera parte del presente escrito, la infección por parte de un virus consiste en la liberación de la información que porta, para que sea ejecutada en la maquinaria celular; esto, a nuestro parecer, coincide con la descripción básica de un funcionalismo que distinga entre la información y el soporte físico, pues el virus desecha el soporte físico para dar paso a la ejecución y autorreplicación de su información. Esto, a su vez, quiere decir que en la naturaleza sí es posible encontrar, al menos, un fenómeno en el que la presencia, distinción y ejecución de cómputos es evidente; de hecho, suponemos que esta presencia, distinción y ejecución será evidente mientras la biología esté dispuesta a aceptar las siguientes ideas: a) que la molécula de DNA consiste en un medio de almacenamiento y que los genes son algoritmos almacenados y no objetos físicos; b) que los virus son portadores de, únicamente, información, en la medida en que son portadores de, únicamente, material genético. No sabemos si en el futuro alguna de estas ideas cambiará; en realidad, dudamos que cambien drásticamente. Por su parte, la primera está sustentada en todos los

³¹ Ningún patrón puede interpretarse como computación si no es porque alguien está asignando una interpretación de dicho patrón como computación.

³² Cfr. Bhalla, Bajpai y Bharadwaj, *DNA Electronics*, pág. 442.

³³ Ver Winfree, *DNA Computing by Self-Assembly*, pág. 31.

³⁴ Cfr. Adleman, *Computing with DNA*.

experimentos que han demostrado la importancia del orden de los pares de bases en diferentes de la biología molecular celular, los análisis computacionales de los ácidos nucleicos y en la importancia de concebir y aceptar las abstracciones genéticas como algoritmos. De esta manera, para que Searle pudiera seguir sosteniendo de manera irrefutable su idea de la inexistencia de cómputos, tendría que negar que los genes consisten en información y, por lo tanto, tendría que aceptar que los genes no son más que objetos; sistemas físicos carentes de cualquier tipo de información algorítmica distinguible. Por otra parte, la segunda idea está sustentada en todas las observaciones acerca de los mecanismos de replicación de los virus, en los que se hace evidente que para ellos lo más importante es perpetuar la información que portan sin importar el material que sirva para este fin. De esta manera, por el momento, con base en la teoría biológica, tenemos razones para asegurar que en la naturaleza hay fenómenos que coinciden con la distinción funcionalista entre sistema físico –cápside, desechada cuando se penetra la célula- y soporte lógico –DNA o RNA liberado y ejecutado al interior de la célula-. Denominamos a este funcionalismo, que permite interpretar los genes como información, *funcionalismo genético*.

Bibliografía

- Adleman, L. "Computing with DNA". En *Scientific American*, Agosto, 1998.
- Bechtel, William. *Filosofía de la mente*. Madrid: Tecnos. 1991.
- Bhalla, V; Bajpai R. y Bharadwaj, L. "DNA electronics ". En *EMBO reports*, vol. 4, No. 5, , 2003, pp 442-445.
- Block, N. "Las dificultades del funcionalismo". En *Filosofía de la mente y ciencia Cognitiva*. Eduardo Rabossi, compilador. Barcelona: Paidós, 1995. 105 – 142.
- Block, N. "Waht is Functionalism". En *The Encyclopedia of Philosophy Supplement*. Donald M. Borchert, editor. New York: MacMillan, 1996.
- Chalmers, David. *A Computational Foundation for the Study of Cognition*, 1994. [consultado mayo 25 2004]. URL= <<http://jamaica.u.arizona.edu/~chalmers/papers/computation.html>>.
- Dawkins, Richard. *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press, 1976.
- Descartes, René. *Los principios de la filosofía*. Madrid: Alianza, 1995.
- Descartes, René. *Meditaciones Metafísicas*. Buenos aires: Aguilar, 1967.
- Dirks, Robert; Lin, Milo; Winfree, Erik and Pierce, Niles A. "Paradigms for computational nucleic acid design". En *Nucleic Acids Research*. 2004, Vol. 32, No. 4. pp. 1392-1403.
- Dirks,R.; Lin, M.; Winfree, E. y Pierce, N. "Paradigms for computational nucleic acid design". En *Nucleic Acids Researc*, 32(4). 2004. pp. 1392-1403.
- Fields, B., Knipe, D., Howley. P. *Fields virology*. Philadelphia: Lippincot- Raven publishers,. 1996. pp. 164.
- Fodor, Jerry. "El Problema cuerpo-mente". *Investigación y Ciencia*, Número 57, (1981): pp. 62 – 75.
- Jones, C. "Herpes Simplex Virus Type 1 and Bovine Herpesvirus 1 Latency". En *Clinical Microbiology Reviews*, Vol. 16, No. 1, Jan. 2003, p. 79–95.
- Levine, A. *Viruses*. New York: Scientific American Library, 1991.
- Moural, Josef. "The Chinese Room Argument". En *John Searle*. Barry Smith, editor. New York: Cambridge University Press, 2003. pp. 214 – 260.
- Penrose, R. *The Emperor's new mind*. Oxford University Press, 1990.
- Purves, W.; Sadava, D.; Orians, G. y Heller, H. *Life, The Science of Biology*. Massachusett: Sinauer Associates, Inc. 2001.

- Rambaut, A., Posada, D, Crandall, K. y Holmes, E. "The causes and consequences of HIV evolution". En *Nature Reviews Genetics*, Vol. 5, 2004. pp. 52-61.
- Searle, John. "Mentes, Cerebros y Programas". En *Filosofía de la inteligencia Artificial*. Margaret Boden, compiladora. México: Fondo de cultura económica, 1990. pp. 82 – 104.
- Searle, John. *The Rediscovery of the Mind*. Cambridge: MIT Press, 1994.
- Turing, A. "Computing machinery and intelligence". En *Mind*, Vol. 59, No. 236 (1950): pp. 433 - 460.
- Williams, George C. "A Package of Information". En *The Third Culture*. John Brockman, editor. New York: Touchstone Books, 1996. pp. 38-50.
- Winfrey, Erik y Bekvolato, Renat. "Proofreading Tile sets: Error Correction for Algorithmic Self-Assembly". En *Ninth International Meeting on DNA Based Computers*. June 1-4, 2003.
- Winfrey, Erik. "DNA Computing by Self-Assembly". En *The Bridge*, Vol. 33, No. 4, 2003. pp. 31 – 38.