

El chingolo no lineal

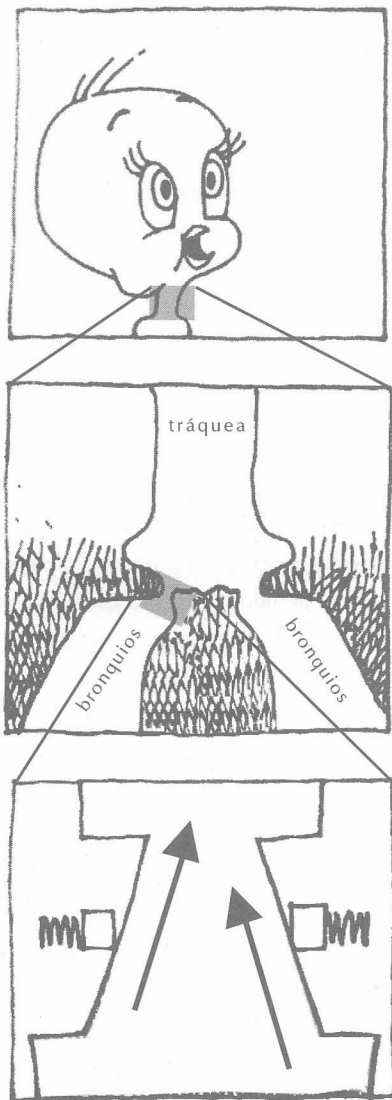
por Guillermo Mattei*
gmattei@df.uba.ar

Un chingolo en el campo. Un canario enjaulado. Sus cantos tienen una magia que atrae al hombre desde siempre. Pero, ¿qué hay detrás de esos armoniosos sonidos? ¿Qué mensaje comunican? ¿Cómo lo producen? Recientemente, un grupo de científicos argentinos, en colaboración con pares estadounidenses, han logrado reproducir muy fielmente, en lenguaje matemático, el mecanismo que emplean las aves para cantar. Mientras la fascinación por el canto de los pájaros no decae, estos estudios pueden arrojar luz acerca de cómo el cerebro humano aprende. Así funciona la ciencia.

En las ramas del saber altamente formalizadas por el idioma de las matemáticas, tal como la física, el conocimiento inédito comienza a globalizarse (con perdón por la palabra) a lo largo del mundillo experto cuando las revistas especializadas lo publican en formato de artículo. Cada uno de estos aportes es un ladrillo más en el edificio conceptual que describe o imita una parte de la realidad que nos rodea. En ocasiones, algunas contribuciones aportan al edificio paredes enteras, trascienden el ámbito de los especialistas y rebotan por los medios de difusión masiva.

Tal es el caso de grandes descubrimientos que terminan derramándose en la cultura, como el hecho de que el universo parece expandirse por siempre, o de hallazgos que resultan de cruzar disciplinas que aparentan ser poco afines, como la biología y la física. A este último tipo de cruces nos dirigimos.

A fines del 2001, la prestigiosa revista de alta divulgación Nature, varios importantes sitios de Internet y el diario local La Nación se hicieron eco de los resultados publicados por los físicos argentinos Gabriel Mindlin y Rodrigo Laje, del Departamento de Física de la FCEyN, acerca de la modelización matemática del órgano vocal de las aves y de su altísima co-



Modelo matemático de siringe

rrelación con los registros de chingolos y canarios “reales”. Mindlin es un profesor e investigador de la FCEyN con importantes antecedentes, pese a su juventud (ver **EXACTA**mente nro. 5, 1996), y Laje es uno de sus actuales estudiantes de la carrera de doctorado en física. Dentro de su campo de trabajo, la llamada “dinámica no lineal” (ver recuadro “Ser o no ser...”), Mindlin abordó el problema del comportamiento físico de la garganta de las aves en su interacción con el aire que fluye desde los pulmones y en su relación con la vocalización sonora del canto.

Un viaje a la garganta del chingolo

Muchas aves machos impresionan a las hembras desplegando todas sus habilidades sonoras: el mejor cantante será el elegido para el apareamiento (acá no vale aquello de “sólo es puro verso”). Las preguntas básicas son: ¿cómo se genera ese complicado repertorio? y ¿cómo opera el modesto cerebro de las aves para procesar el canto?

Un endoscopio imaginario, entrando por las vías aéreas del chingolo, encontraría primero la tráquea, de un milímetro de diámetro, y luego una bifurcación en dos canales, denominada siringe, que llevan a

los bronquios y pulmones. En la siringe hay unas protuberancias del tejido, llamadas labios, que pueden abrir y cerrar el paso del aire que va de los pulmones a la tráquea. Bajo ciertas condiciones, el aire que sale hace vibrar los labios, lo cual produce sonido de manera análoga a las cuerdas vocales humanas. Los músculos de la siringe alteran la tensión y la apertura de los labios para cambiar el tono fundamental del sonido (la "altura" de la nota, diría un músico).

Para determinar cómo la actividad cerebral lleva a la producción de sonido, los científicos se esforzaban por entender cuánto del sonido proviene de complicadas instrucciones desde el cerebro y cuánto de la física compleja de los órganos vocales. Las conclusiones del trabajo de Mindlin y colaboradores demuestran que el complejo canto de los aves se debe casi fundamentalmente a un control simple de su voz: regulando sólo dos variables, la presión del aire y la tensión de los músculos de la siringe, los pájaros pueden producir un amplio repertorio de sonidos. Es decir, el secreto es soplar y angostar la garganta en forma coordinada.

La modelo, el modelo y la tráquea matemática

Los golpes de creatividad, las ideas atrevidas, el criterio estético o la rica experiencia acumulada no son cualidades exclusivas de, por ejemplo, un pintor que intenta plasmar en el lienzo el cuerpo de una modelo. Sin embargo, contrariando la intuición popular, los científicos también pueden crear, en este caso, conocimiento nuevo guiados por impulsos parecidos.

Por ejemplo, un físico (el pintor) enfrenta el aspecto de la realidad externa que quiere estudiar (la modelo) con diversas



Las redes neuronales

Basadas en el deseo de crear dispositivos artificiales capaces de producir cálculos sofisticados o "inteligentes" - similares a los que el cerebro humano rutinariamente produce - que pudieran dar cuenta de los mecanismos de aprendizaje, surgen las redes neuronales artificiales.

De entre varias formas de definir las redes neuronales «de juguete» podrían entenderse como una malla de muchos procesadores unitarios de información, quizás con una pequeña memoria local, conectados por canales de comunicación que transportan datos numéricos codificados de diferentes formas. La sorprendente propiedad de algunas de estas redes es que pueden aprender a partir de ejemplos y hacer una generalización (tal como un niño reconoce a los perros a través de un ejemplo de lo que es un perro).

En principio, las redes neuronales pueden hacer todo lo que hace una computadora normal y, teóricamente, algo más. En un extremo más especulativo, algunos investigadores aseguran que las redes neuronales serían aptas para simular algunos prerrequisitos de la conciencia humana, tales como la percepción y la cognición y otros, más atrevidos, apuestan a que ayudarán a resolver uno de los más intrigantes enigmas, el estado consciente.

herramientas matemáticas (pinceles y lienzo) que le permiten construir un modelo físico o estructura conceptual (la pintura) que imita o luce como su objeto de estudio (la modelo). Pese a que el modelo no es la modelo, lo realmente valioso es que la pintura matemática creada por el investigador le permite a él y a otros aprender nuevas propiedades, contestar preguntas pendientes, formularse otras nuevas y predecir comportamientos del objeto imitado.

En la línea de la anterior analogía, Mindlin "pintó", en términos matemáticos, una tráquea de formas un poco más simplificadas que la real y, para reproducir el movimiento de los labios, apeló a una idea relacionada con un viejo conocido de la física: el modelo del resorte idealizado. Es decir, supuso que el ir y venir de los labios - cambiando el tamaño del agujero de los canales por donde pasa el aire - es similar (no igual) al movimiento, por ejemplo en un plano horizontal, de una pequeña bolita de metal sujeta al extremo de un resorte fijo, por la otra punta, a una pared. En realidad, técnicamente, se trata de un oscilador de relajación u oscilación entre dos estados: "abierto" (pasa el aire) y "cerrado" (el aire no pasa). Luego hipotetizó que las aves controlan sus vocalizaciones sólo mediante dos acciones: cambiando la presión del aire que proviene de los pulmones y usando los músculos que modifican la rigidez de los labios. La "vida", a este órgano de juguete, se la aportan las llamadas ecuaciones diferenciales de los osciladores armónicos amortiguados. Finalmente, las simulaciones computacionales muestran que, efectivamente - en la hipótesis de la sola variación de la presión y la tensión labial -, es posible reproducir con bastante fidelidad gran parte del repertorio de muchas aves.

Ser o no ser "no lineal"

En matemáticas, la palabra "lineal" tiene un significado muy preciso: es la característica de la relación entre dos magnitudes que se pueden representar gráficamente por una línea recta. Por ejemplo, el precio del boleto de colectivo y el valor del gasoil. Sin embargo, para algunos círculos posmodernos del ambiente de las ciencias sociales, punibles por apropiación indebida de jerga, "lineal" significa "poco imaginativo", "pasado de moda", mientras que "no lineal" adjetiva lo que está en la vanguardia de las ideas...

Sin embargo, la "dinámica no lineal", como área de la física, no vino a derrumbar a la mecánica en tanto teoría previa y sólo por el hecho de ser cronológicamente anterior, sino que permite ampliar los alcances y la capacidad de comprensión precedentes a nuevos horizontes y posibilidades.

Los movimientos de los sencillos objetos de estudio de la mecánica —un satélite orbitando la Tierra— aparentan ser predecibles y fáciles de describir por las leyes conocidas. No obstante, ya hace más de cien años, Henri Poincare descubrió

que aun sistemas de objetos en apariencia simples pueden desarrollar complejísimos movimientos si uno deja transcurrir suficientemente el tiempo. En este sentido, el inocente problema de la relación gravitatoria entre la Luna, la Tierra y el Sol puede llenar varios capítulos de un libro de astronomía.

¿La característica distintiva de estos ejemplos no lineales? Aumentar al doble la causa no aumenta al doble el efecto, o el todo es más que la suma de las partes. En algunos sistemas, además, el comportamiento global bajo estudio depende muy sensiblemente de la manera con la que se inicia un proceso que nunca termina de una forma previamente reconocible. Acostumbrarse a esta nueva intuición lleva su tiempo y conduce irremediablemente a otro concepto muy apetecido en ámbitos de estudios culturales: el caos.

Las teorías, formalizaciones y técnicas que permiten encarar estas ideas son las mismas que Mindlin y colaboradores usaron para estudiar a fondo el comportamiento de la tráquea de las aves cuando cantan.

Moraleja: cambios simples sobre un sistema muy básico, en lugar de sofisticadas instrucciones cerebrales, son los que produce la física que da lugar a tan ricos y complejos sonidos. Dos perillas sintonizan el canto de las aves: presión y tensión muscular. Simplemente por alteración repetida de estas variables, Mindlin y su equipo crearon una canción artificial, completa y con sutiles cambios en el contenido armónico que se asemeja casi a la perfección al canto real de chingolos y canarios.

Aprendiendo canto

Mindlin explica: "El habla humana y el canto de los pájaros comparten una similitud básica: ambas aptitudes se aprenden a temprana edad a través de la experiencia". Como sucede con los niños, las vocalizaciones del canto de los pájaros comienzan con tímidos balbuceos para llegar finalmente a un canto estructurado. Los investigadores esperan que la dilucidación de la mecánica de la generación del sonido en el canto de los pájaros ayude a



explicar la relación con la actividad cerebral del animal y, en consecuencia, la manera en que se produce el aprendizaje de las canciones.

"El canto de las aves es un interesante punto de partida para el estudio del aprendizaje y memorización en redes neuronales", explica el especialista refiriéndose a otra gran área de investigación multidisciplinaria (ver recuadro "Las redes..."). Mindlin agrega que los elementos que él es capaz de controlar, vía su modelo, le permitirán aprender la manera en que los cambios neuronales modifican las vocalizaciones innatas o no enseñadas y, finalmente, cómo los distintos detalles del repertorio del canto de las aves aparecen representados en el cerebro. En otras palabras, los científicos podrán discernir cuánto aporta el cerebro y cuánto el órgano vocal al proceso de aprendizaje.

Por su parte, Laje aclara: "Todos nuestros resultados preliminares nos permiten plantear que, al menos en el caso del canto de chingolos y canarios, podemos usar modelos físicos simples para reproducir los datos observados y que la complejidad de los elementos de la canción provienen de simples modificaciones de un muy genérico ajuste en la presión pulmonar y en la tensión muscular."

¿La conclusión para los cantantes de ópera? Para entonar como un canario sólo se necesita una buena coordinación entre aliento y control muscular. ■

* Coordinador de los laboratorios de enseñanza del Departamento de Física - FCEyN