



# Ciencias de la computación "al rescate" para renovar la tierra



**JÉRÉMY BARBAY**

Profesor Asistente del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. Doctor en Computación por la Universidad de París XI, Orsay, Francia. Sus intereses de investigación incluyen teoría de la computación, sistema de apoyo al aprendizaje (<https://teachingislearning.cl>) e interacciones computacionales para animales (<https://incalab.cl>).

✉ [jeremy@barbay.cl](mailto:jeremy@barbay.cl)



**RESUMEN.** Desde la deriva climática, el agotamiento de varios tipos de recursos energéticos y materiales, hasta la emergencia de cambios sociales importantes a través del mundo, estamos viviendo "tiempos interesantes". El desarrollo exponencial de dispositivos computacionales es definitivamente parte del problema, y cualquier solución a largo plazo deberá reducir el costo e impacto de tales dispositivos computacionales sobre el medio ambiente. ¿Hasta cuánto habría que reducir el uso de herramientas computacionales? ¿Existen aplicaciones de la computación que compensan su costo en energía y en recursos? Varias aplicaciones computacionales podrían ser claves en la implementación de las transiciones necesarias en los próximos años.

## Introducción

Por bueno o por malo que sea, estamos viviendo tiempos "interesantes". El clima parece enganchado en una deriva imposible de parar (pero que aún podemos evitar acelerar). Esto cae justo en una época en la cual las fuentes más fáciles de explotar de varios tipos de recursos se agotan una tras otra. Y todo eso se combina con transformaciones sociales importantes, que los movimientos migratorios impulsados por los cambios climáticos influenciarán y amplificarán.

El desarrollo exponencial de los dispositivos computacionales en la sociedad humana es definitivamente parte del problema general, considerando tanto el costo energético como el costo material. Por un lado, el crecimiento exponencial de los consumos energéticos asociados a la construcción y al uso de tal material no puede continuar indefi-

nidamente, ya sea con o sin energías fósiles [1]. Por otro lado, los materiales que componen los equipamientos electrónicos están, por definición, presentes en cantidades finitas en el planeta, por lo cual no pueden seguir un desarrollo exponencial sin fin, y llegarán muy pronto a sus límites sin técnicas de reciclaje (aún por inventar e implementar). Para cualquier sociedad que se proyecta en una escala de largo plazo, una "cultura permanente" deberá renunciar (dentro de otras cosas) a algunos aspectos del desarrollo computacional que hemos conocido en los últimos cincuenta años.

Nací y crecí en el campo, donde pude ver tanto la magia de la realidad, celebrando varias noches de navidad con el nacimiento de cabras bebés y llorando por la matanza de dichas cabras para comerlas en algunas celebraciones... dos aspectos de los varios ciclos de "la vida". Pero también me enamoré de la tecnología en general, y de la computación en particular, las cuales se sienten como tener poderes sobrenaturales, extensiones físicas (ser más fuerte, más rápido) y cognitivas (tener mejor memoria, ser más preciso) del ser humano. Me enamoré de los dos, pero no estoy seguro que estos dos amores sean compatibles: a veces las noticias parecen apuntes una y otra vez de que la tecnología lo está destruyendo todo. Trabajar en tecnología me genera algo de disonancia cognitiva: creo que tenemos que mantener un ecosistema favorable al ser humano, ¡pero mi trabajo usa recursos cuya extracción participa en la destrucción de tal ecosistema!

¿Puede existir una sociedad que se sostenga de mejor manera en el tiempo, y que aproveche los superpoderes de la tecnología? La podemos imaginar sin apostar en desarrollos tecnológicos que tengan más de milagro que de ciencia? Han existido sociedades humanas "limpias" que preferían energías sustentables como el viento (e.g. naves a velas, molinos) en vez de energías fósiles (e.g. carbón, petróleo y materiales radiacti-

vos) no renovables (o, al menos, no renovables a escalas de tiempo humanas). Tales sociedades usaban los principios de la "computación" de forma limitada, por ejemplo en relojes mecánicos y máquinas para tejer. Construir una sociedad sostenible en el tiempo implica limitarse a tales tecnologías, o ¿existen aplicaciones de la computación que compensen suficientemente su costo en energía y en recursos para mantener un nivel alto de desarrollo en tal área?

Soy de la opinión que mantener alguna forma de capacidad computacional avanzada tiene ventajas que sobrepasan parcialmente los inconvenientes de su costo, incluido en una sociedad que pretende mantenerse en el tiempo en un ámbito finito como un planeta, por escalas de tiempo largas. Sin pretender dar una solución global y simple a los problemas sociales y climáticos que enfrenta la humanidad (es probable que tal solución no exista), describo a continuación algunos ejemplos de proyectos en cuyo desarrollo creo que las ciencias de la computación pueden ser clave, al punto de compensar su alto costo energético y material.

## El mundo virtual al servicio del mundo real

Una de las raíces de los problemas que la humanidad enfrenta en el tiempo presente, es la dificultad de proyectarse en tiempos futuros más o menos lejanos. Como individuos, se documentó la dificultad de planificar a más de diez años, pero las sociedades humanas no parecen tener una visión de futuro a un horizonte mucho más lejano. Si los científicos predijeron algunos de los problemas actuales hace más de cincuenta años (usando herramientas informáticas ya), y lograron influir en algunas de las políticas de desarrollo social, no pudieron evitar tales problemas, en gran parte por la dificultad de comunicar y convencer sobre el resultado de sus estudios.



La computación puede ayudar a resolver dicho problema de comunicación, además de tener un rol en llegar a tal conclusión. Una simulación en un entorno virtual permite *acelerar el tiempo* para poder visualizar el futuro lejano, permite *cometer errores sin pagar su costo* para poder visualizar las consecuencias de sus acciones y, de manera más general, *experimentar a costo más bajo* que en el mundo real.

En el proyecto “Easy-Permaculture”, se propone diseñar, desarrollar y validar un simulador simplista que entregue a un estudiante de permacultura, una etapa intermedia entre la adquisición de conocimientos en cursos teóricos (viendo cápsulas de videos o leyendo textos) y poner en práctica tales conocimientos en el mundo real, en un terreno real y con condiciones geográficas reales. Aparte de decidir si el costo de tal simulación es más bajo o no que el de experimentar en un terreno real, el hecho de recurrir a una simulación tiene algunas ventajas claves como poder controlar el paso del tiempo y reducir o suprimir el costo de cometer errores.

El control del tiempo en una simulación se puede usar de varias maneras, tanto para acelerar las cosas como para hacerlas más lentas. Mostrar de manera más lenta mecanismos físicos como el movimiento del agua, permite entender mejor sus turbulencias y desarrollar mejores sistemas de riesgos. Acelerar el tiempo permite mostrar a un estudiante las consecuencias de decisiones de diseño años después de su implementación, o los efectos acumulados de acciones recurrentes sobre un periodo de tiempo prolongado. En el mundo real, el éxito o fracaso de un diseño de permacultura se puede observar después de varios meses en el mejor caso, y años (plantas), decenas (plantaciones de árboles) o centenarios (establecimiento de poblaciones animales) ¡en muchos casos!

El entorno virtual reduce tanto el costo de cometer errores, que permite en

algunos casos pedirle a un estudiante que los cometa a propósito, de manera de visualizar las consecuencias, en vez de confiar en el conocimiento teórico al respecto. Existen muchos ejemplos de prácticas que ahora sabemos se deben evitar, y que no se permiten repetir a alumnos y alumnas. Por ejemplo, algunas civilizaciones regaron sus plantaciones con agua de mar: tal estrategia resultó exitosa a corto plazo, pero dejó el suelo inutilizable para el cultivo a largo plazo. Se argumenta que la deforestación intensiva permitió aumentar la producción agrícola desde la revolución industrial, una ventaja cierta al corto tiempo, pero con el costo de una destrucción catastrófica de los suelos. Quizás las civilizaciones futuras pedirán a sus estudiantes reproducir los errores del pasado en un entorno virtual, para que eviten repetirlos en el mundo real...

Una razón particular para buscar mejorar la docencia en permacultura, es que en la época previa al uso masivo de energías fósiles, la agricultura necesitaba mucha mano de obra (2/3 de la población activa). Si la sociedad humana dejara de usar tales energías fósiles, mientras intenta mantener una población de un tamaño comparable al tamaño presente, se necesitaría no solamente un tipo de agricultura más eficiente (que utilice menos energía) y menos dependiente de los abonos externos (cuyas reservas se están acabando), sino también formaría de manera urgente una proporción importante de población para el trabajo en el campo, y sin depender de un cambio generacional demasiado lento por las circunstancias presentes.

---

## Ciencias de la información al servicio de la comunicación

---

Aunque puede parecer contraintuitivo, la especie humana es una de las especies animales más colaborativas del planeta.

Mientras varios mamíferos viven y colaboran en rebaños de centenas de individuos y diversas especies de insectos viven en sociedades de miles de individuos, solamente los humanos interactúan en colaboraciones que involucran a millones de personas en lugares opuestos del planeta: desde el simple hecho que individuos no relacionados “colaboren” en compartir una autopista sin chocarse, hasta los millones de humanos involucrados en el envío de naves a otros planetas del sistema solar, tales colaboraciones resultan impresionantes.

Un nivel de cooperación más alto aún será necesario para resolver los desafíos presentes, y necesitará un gran nivel de comunicación, el cual no se podrá lograr sin automatizar una gran parte de las interacciones entre individuos y grupos de individuos, a través de herramientas computacionales. En el contexto de la agronomía en particular, la deriva climática necesitará mucho intercambio de recursos y de información entre zonas geográficas distintas, de una manera mucho más rápida de lo que ocurrió históricamente en sociedades humanas previas.

### Bancos distribuidos de material genético

Los procesos con crecimiento exponencial son nada más que herramientas. No son sustentables de manera infinita en un mundo finito, pero se pueden usar de manera controlada para implementar cambios masivos en poco tiempo. El daño causado por crecimientos exponenciales (de consumos de materiales, consumos de energía, producción de materiales contaminantes, poblaciones), quizás, se podrá compensar o reparar, de forma parcial o completa, con otros procesos exponenciales. Unas pocas semillas son suficientes para “plantar” un nuevo ecosistema en el ámbito adecuado, a condición de saber cuáles semillas usar en cuál ámbito: manejar bancos de semillas y la información asociada sería muy difícil de realizar sin usar herramientas computacionales.



Además, en un entorno mucho menos estable de los que ha favorecido el crecimiento de las civilizaciones humanas previas, (re)construir ecosistemas resilientes a choques climáticos y ecológicos requiere maximizar su diversidad genética. Cuando la diversidad genética crece muy lentamente por procesos naturales, solo modelos computacionales avanzados pueden acelerar tal proceso, guardando trazas del origen de cada semilla o individuo y sugiriendo nuevas combinaciones para maximizar la diversidad resultante.

Para terminar, en un contexto donde el clima de cada región cambiará de manera muy rápida, el humano tiene un rol que cumplir en la diseminación de especies animales y vegetales de manera más consciente y más rápida de lo que pasa “naturalmente”. Tal tarea necesitará recursos computacionales para recolectar los datos disponibles e indexarlos, y necesitará simular los efectos de varias estrategias de manera de poder sugerir las estrategias de diseminación más efectivas [2].

### Difusión de técnicas de Permacultura

Cuando los europeos intentaron invadir el continente africano, trataron de cultivar los cereales tradicionalmente exitosos en Europa, siendo un gran fracaso en las zonas ecuatoriales de África debido a que el clima no era apto.

Solamente en la zona sur del gran continente se logró cultivar tales cereales, y con ello las poblaciones humanas de ascendencia europea. De una manera similar, el especialista en Permacultura, Andrew Millison, describe la simetría de condiciones climáticas entre Oregón, en Estados Unidos, y la Región del Biobío en el sur de Chile, y la esperanza de poder traspasar técnicas de cultivo exitosas de una región a otra, que sean tradicionales o modernas.

Tradicionalmente, el traspaso de técnicas de cultivo ocurre de manera relativamente lenta: algunos individuos viajan de una región a otra, aprenden algunas técnicas, vuelven a su zona geográfica de origen y adaptan tales técnicas a las condiciones locales. En un contexto de cambio climático acelerado, sistemas informáticos para listar e indexar tanto las técnicas de cultivo como las condiciones geográficas en las que han tenido éxito serán esenciales para evitar un colapso completo de los sistemas de producción agrícola.

## Conclusión

Desde los materiales utilizados para la construcción de los equipamientos computacionales, hasta la energía requerida para hacerlos funcionar [3, 4], las herramientas computacionales a las cua-

les nos acostumbramos en los últimos treinta años tienen un impacto grande sobre el planeta, que se deberá reducir en el futuro, “por la razón o la fuerza”, de manera autocontrolada si la sociedad implementa las políticas apropiadas, o de manera “natural” si las consecuencias negativas de tal desarrollo terminan de destruir los ecosistemas que sustentan a las sociedades humanas, las que tendrán que detener su desarrollo debido a las circunstancias.

Pero incluso antes de las amenazas de catástrofes y derivas climáticas, las sociedades humanas han desarrollado técnicas de colaboración a gran escala, dentro de las cuales las herramientas computacionales son claves. Desarrollar colaboraciones a escalas más grandes aún será clave para mantener civilizaciones en un planeta con un clima inestable. En el contexto de una deriva climática acelerada, este desarrollo se hace más urgente, y difícil de imaginar sin los recursos computacionales modernos.

Hemos descritos solamente algunos ejemplos de aplicaciones en los que tales desarrollos serán importantes o incluso claves: es nuestra esperanza que esto sirva de inspiración para que varios expertos en computación encuentren cómo aportar su “piedra” al edificio de una civilización humana más resiliente respecto a los cambios por venir, y capaz de proyectarse en el futuro en un periodo de tiempo grande. ■

### REFERENCIAS

- [1] Makonin, S., Marks, L.U., Przedpelski, R., Rodríguez-Silva, A., and EIMallah, R. 2022. Calculating the Carbon Footprint of Streaming Media: Beyond the Myth of Efficiency. Eighth Workshop on Computing within Limits 2022, LIMITS.
- [2] Colliaux, D., Minchin, J., Goelzer, S., and Hanappe, P. 2022. Computational Agroecology: Should we bet the microfarm on it? Eighth Workshop on Computing within Limits 2022, LIMITS.
- [3] Aslan, J., Mayers, K., Koomey, J. G., & France, C. (2018). Electricity intensity of internet data transmission: Untangling the estimates. *Journal of Industrial Ecology*, 22(4), 785-798.
- [4] Shift Project (2018). Lean ICT- Pour une sobriété numérique. <https://theshiftproject.org/article/pour-une-sobriete-numerique-rapport-shift/>.