

Hacia una computación planetaria regenerativa para enfrentar las novel entities

Towards Regenerative Planetary Computing to Tackle Novel Entities

POR / BY **TOMÁS VIVANCO LARRAÍN**

PROFESOR ASISTENTE. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

PHD(C) DIGITAL FUTURES. TONGJI UNIVERSITY, SHANGHAI

DIRECTOR FAB LAB AUSTRAL UC, PUERTO WILLIAMS

ASSISTANT PROFESSOR. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

PHD(C) DIGITAL FUTURES. TONGJI UNIVERSITY, SHANGHAI

DIRECTOR FAB LAB AUSTRAL UC, PUERTO WILLIAMS

EL IMPACTO DE LAS NOVEL ENTITIES SOBRE NUESTRO SISTEMA PLANETARIO ESTÁ SIENDO DEVASTADOR. LAS PRÁCTICAS METODOLÓGICAS ENFOCADAS EN PROCESOS DE DISEÑO SUSTENTABLE, BASADAS EN REDUCIR EL IMPACTO NEGATIVO DE LO QUE HACEMOS EN NUESTRO ENTORNO, YA NO SON SUFICIENTES. URGE AVANZAR HACIA LA IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS REGENERATIVAS QUE NOS PERMITAN MITIGAR Y RESTAURAR EL DAÑO QUE HEMOS GENERADO EN NUESTRO PLANETA, POR MEDIO DE LA INTEGRACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS, COMUNIDADES Y TECNOLOGÍAS BIOLÓGICAS Y DIGITALES. AL MISMO TIEMPO, PODER OPERAR Y RESOLVER PROBLEMAS HIPERLOCALES, EN ESTRECHA COMUNIÓN CON NUESTRAS BIORREGIONES PARA LA INTEGRACIÓN DE SISTEMAS COMPLEJOS QUE PROMUEVEN LA REGENERACIÓN Y EL CUIDADO DEL PLANETA.

THE IMPACT OF NEW ENTITIES ON OUR PLANETARY SYSTEM IS DEVASTATING. METHODOLOGICAL PRACTICES FOCUSED ON SUSTAINABLE DESIGN PROCESSES, BASED ON REDUCING THE ADVERSE EFFECTS OF WHAT WE DO ON OUR ENVIRONMENT, ARE NO LONGER SUFFICIENT. WE URGENTLY NEED TO IMPLEMENT REGENERATIVE PRACTICES THAT ALLOW US TO MITIGATE AND RESTORE THE DAMAGE WE HAVE DONE TO OUR PLANET THROUGH INTEGRATING ECOSYSTEMS, COMMUNITIES, AND BIOLOGICAL AND DIGITAL TECHNOLOGIES. AT THE SAME TIME, WE MUST BE ABLE TO OPERATE AND SOLVE HYPER-LOCAL PROBLEMS IN CLOSE COMMUNION WITH OUR BIOREGIONS TO INTEGRATE COMPLEX SYSTEMS THAT PROMOTE REGENERATION AND CARE FOR THE PLANET.

LAS NOVEL ENTITIES, UN PROBLEMA DE DISEÑO

Las llamadas *novel entities* –o nuevas entidades– son todas aquellas cosas que no pertenecen a la naturaleza pero que el humano ha creado e introducido en el entorno, pudiendo crear un efecto positivo o negativo en nuestro sistema planetario. Estas entidades pueden ser productos químicos sintéticos, microplásticos, pesticidas, contaminantes industriales, sustancias radiactivas, productos farmacéuticos y microorganismos genéticamente modificados, entre otros. A pesar sus considerables contribuciones y mejoras del desarrollo humano, el impacto acumulativo negativo de estas entidades durante largos períodos, han llevado a transgredir todos los límites planetarios y afectar gravemente la salud de todas las especies que cohabitamos el planeta (Steffen et al., 2015).

Los límites planetarios presentan un conjunto de nueve límites en los cuales la humanidad puede seguir desarrollándose y prosperando durante las próximas generaciones dentro de una zona de equilibrio entre las fundaciones o contratos sociales y el cielo ecológico. Sin embargo, estudios recientes han avanzado hacia la cuantificación de cada uno de estos límites, concluyendo que actualmente seis de los nueve límites establecidos están siendo transgredidos, condicionando gravemente nuestras posibilidades de sobrevivencia en el sistema planetario (Richardson et al., 2023). De los nueve límites planetarios, seis de ellos han traspasado el umbral de equilibrio en nuestro sistema. Para medir las *novel entities*, el último límite planetario cuantificado (Persson et al., 2022), se establecieron variables de medición a partir de la factibilidad y disponibilidad de datos, la relevancia de sus efectos dentro del sistema planetario y su integración o relación con la escala planetaria.

Esto permitió identificar las causas que generan los cambios en el sistema planetario, junto con el impacto de cada una de ellas. También, se evaluaron los datos para cuantificar las variables de medición en las escalas territoriales y temporales, vinculándose con los efectos en el funcionamiento del sistema terrestre. Este enfoque permitió observar la totalidad de los posibles impactos de las *novel entities* por medio de umbrales de causa-efecto.

Los resultados fueron devastadores. Todo lo que hemos inventado e introducido en nuestros entornos es lo que más afecta negativamente al sistema planetario, sobrepasando todos los márgenes. El gran problema de las *novel entities* es que los ecosistemas no están preparados para interactuar e integrar estos nuevos compuestos. Al ser elementos exógenos a los procesos biológicos naturales, muchas de estas entidades no se descomponen fácilmente por lo que pueden acumularse en los ecosistemas durante largos períodos, causando daños a largo plazo. Esto se traduce en la contaminación del suelo, el agua y la atmósfera, dañando gravemente a la biodiversidad.

Un ejemplo simple y claro de esto son las partículas de microplásticos, ahora presentes en casi todos los rincones del planeta, desde las profundidades de los océanos hasta la altura de grandes montañas. Estos pequeños fragmentos de plástico afectan tanto la vida marina y terrestre, alterando el

NOVEL ENTITIES, A PROBLEM OF DESIGN

So-called novel entities—or new entities—are all things that do not belong to nature but that humans have created and introduced into the environment, which can positively or negatively affect our planetary system. These entities may include synthetic chemicals, microplastics, pesticides, industrial pollutants, radioactive substances, pharmaceuticals, and genetically modified microorganisms, among others. Despite their considerable contributions and improvements in human development, the cumulative negative impact of these entities over long periods has affected the health of all species co-inhabiting the planet, leading to the transgression of all planetary boundaries and severely affecting the health of all species co-inhabiting the planet (Steffen et al., 2015).

The planetary boundaries present a set of nine limits within which humanity can continue to develop and thrive for generations to come within a zone of balance between social foundations or contracts and the ecological sky. However, recent studies have moved towards quantifying each of these limits, concluding that six of the nine established limits are currently being transgressed, severely conditioning our chances of survival in the planetary system (Richardson et al., 2023). To measure novel entities, the last quantified planetary boundary (Persson et al., 2022), measurement variables were established based on the feasibility and availability of data, the relevance of their effects within the planetary system, and their integration or relationship to the planetary scale.

This allowed us to identify the causes that generate changes in the planetary system, together with the impact of each of them. The data were further analysed to quantify measurement variables at territorial and temporal scales, linking them to the effects on the functioning of Earth's system. This method helped to observe all possible impacts of new entities through cause-and-effect thresholds.

The results were devastating; everything we have invented and introduced into our environments most negatively affects the planetary system, exceeding all margins. The big problem with novel entities is that ecosystems are unprepared to interact with and integrate these new compounds. As elements external to natural biological processes, many entities do not easily break down and can accumulate in ecosystems for extended periods, causing long-term damage. This results in soil, water, and air pollution, seriously damaging biodiversity.

A straightforward example is microplastic particles, now present in almost every corner of the planet, from the depths of the oceans to the heights of high mountains. These tiny plastic fragments affect marine and terrestrial life, disturbing water and soils and entering the food chain of animals and humans. The presence of microplastics in drinking water and food is so significant that it is estimated that humans ingest an amount equivalent to one credit card per year (Mohamed et al., 2021).

Today, design disciplines play a fundamental role in imagining, creating, processing, shaping, using, and disusing most new entities. It is essential to pause and consider if we need to design new things and to evaluate whether conventional processes support this endeavour.

agua, los suelos e ingresando a la cadena alimentaria de animales y humanos. La presencia de micro plásticos en el agua potable y alimentos es tan grande que se estima que los seres humanos ingerimos una cantidad equivalente a una tarjea de crédito al año (Mohamed et al., 2021).

Actualmente, las disciplinas del diseño juegan un rol fundamental en imaginar, crear, procesar, dar forma, uso y desuso a la gran mayoría de las entidades nuevas. Desde la perspectiva antes planteada, vale la pena detenerse a reflexionar sobre la necesidad de seguir diseñando cosas nuevas y, en caso de ser necesarias, plantearse si los procesos convencionales son los propicios para hacerlo.

DE LO GLOBAL A LO HIPERLOCAL

De alguna manera, hemos diseñado todas las cosas que nos rodean, pero nos hemos olvidado de diseñar lo que nos rodea. En la historia del diseño hemos pasado de crear artefactos a experiencias por medio de símbolos, materiales e interacciones, enfrentándonos hoy a un problema de integración para la conformación de sistemas que transformen ecosistemas (Buchanan, 2019). Abordar problemas complejos y de escala planetaria desde el diseño requiere de un marco metodológico que permita descomponer las escalas o contextos para identificar oportunidades de diseño aisladas e interconectadas. La viabilidad de estas transformaciones se gatilla cuando el diseño, entendido como un diseño integrador y estratégico, interviene en todas las etapas de los procesos de producción, desde la identificación de materias primas hasta el uso/desuso de los productos y bienes que generamos. Para ello, urge el tránsito rápido hacia el cambio de paradigma del modelo productivo basado en la importación de productos físicos PITO (del inglés Products On / Trash Out) por DIDO (del inglés Data In / Data Out), basado en la interacción de datos que promueva la fabricación local y circular (Fab City Foundation, 2022). Iniciativas como los *Fab Labs*, *BioLabs* y *Makerspaces* han promovido durante años este cambio de paradigma; sin embargo, estos debiesen ser solo el nivel base de un modelo más amplio y complejo.

Power of Ten o el Poder de Diez es un breve documental en el que se muestra la escala relativa del universo en factores de diez, es decir, en escala logarítmica de base 10 (Eames & Eames, 1978). En él, se pueden comprender la relevancia y la estrecha relación que existen entre las escalas de interacción humana y galáctica. Esta perspectiva de interconexión es una de las bases del modelo Fab City Full Stack (Figura 1) (Diez Ladera et al., 2024), que reconoce, también, los ritmos, velocidades y tiempos (Brand, 2008) de cada una de las capas del sistema, considerando autorregulaciones basadas en principios cibernéticos de segundo orden y del modelo de sistema viable (Kendall & Beer, 1960). Fab City Full Stack propone un marco de operación para que ciudades y zonas rurales produzcan de manera autosuficiente los bienes y productos que necesitan intersecando tres elementos esenciales: las comunidades (no organizadas y organizadas, civiles, privadas y públicas), los ecosistemas (recursos bióticos, ecorregiones, biorregiones) y las tecnologías (bio y digitales).

Plantearse la pregunta de cómo un objeto, por muy cotidiano y pequeño que sea, llegó a nuestras manos abre un espectro de análisis que rompe cualquier lógica e idea de borde. La carga energética global y planetaria recae en todos los objetos cotidianos que nos rodean, siendo esa escala, la hiperlocal en la cual tenemos una gran oportunidad de intervención y transformación.

FROM GLOBAL TO HYPER-LOCAL

Somehow, we have designed everything around us but forgotten to design what surrounds us. We have evolved from creating artifacts to crafting experiences using symbols, materials, and interactions throughout design history. Today, we face the challenge of integrating these elements to shape systems that can transform ecosystems (Buchanan, 2019). Addressing complex, planetary-scale problems through design requires a methodological framework that allows for the decomposition of scales or contexts to identify isolated and interconnected design opportunities.

The viability of these transformations is triggered when design, understood as integrative and strategic, intervenes in all stages of the production processes, from the identification of raw materials to the use/disuse of the products and goods we generate. To this end, there is an urgent need for a rapid transition towards a paradigm shift from a production model based on the import of physical products PITO (Products On / Trash OUT) to DIDO (Data In Data Out), based on the interaction of data that promotes local and circular manufacturing (Fab City Foundation, 2022). For years, initiatives such as Fab Labs, BioLabs, and Makerspaces have promoted this paradigm shift. However, these should only be the base level of a broader and more complex model.

Power of Ten is a short documentary showing the relative scale of the universe in factors of ten, i.e., in base ten logarithmic scale (Eames & Eames, 1978). Watching it, one can understand the relevance and the close relationship between the scales of human and galactic interaction. This interconnectedness perspective is one of the bases of the Fab City Full Stack model (Figure 1) (Diez Ladera et al., 2024), which also recognises the rhythms, speeds, and timing (Brand, 2008) of each of the layers of the system, considering self-regulations based on second-order cybernetic principles and the viable system model (Kendall & Beer, 1960). Fab City Full Stack presents an operational framework designed to help urban and rural areas become self-sufficient in producing the necessary goods and products. This framework is built upon the intersection of three essential elements: communities (both organised and unorganised, including civil, private, and public sectors), ecosystems (comprising biotic resources, eco-regions, and bioregions), and technologies (including both biological and digital).

Asking how an object, no matter how every day and small, came into our hands opens a spectrum of analysis that challenges any logic or notion of boundaries. The global and planetary energy charge falls on all the everyday objects surrounding us. The hyperlocal scale is the one in which we have a more significant opportunity for intervention and transformation.

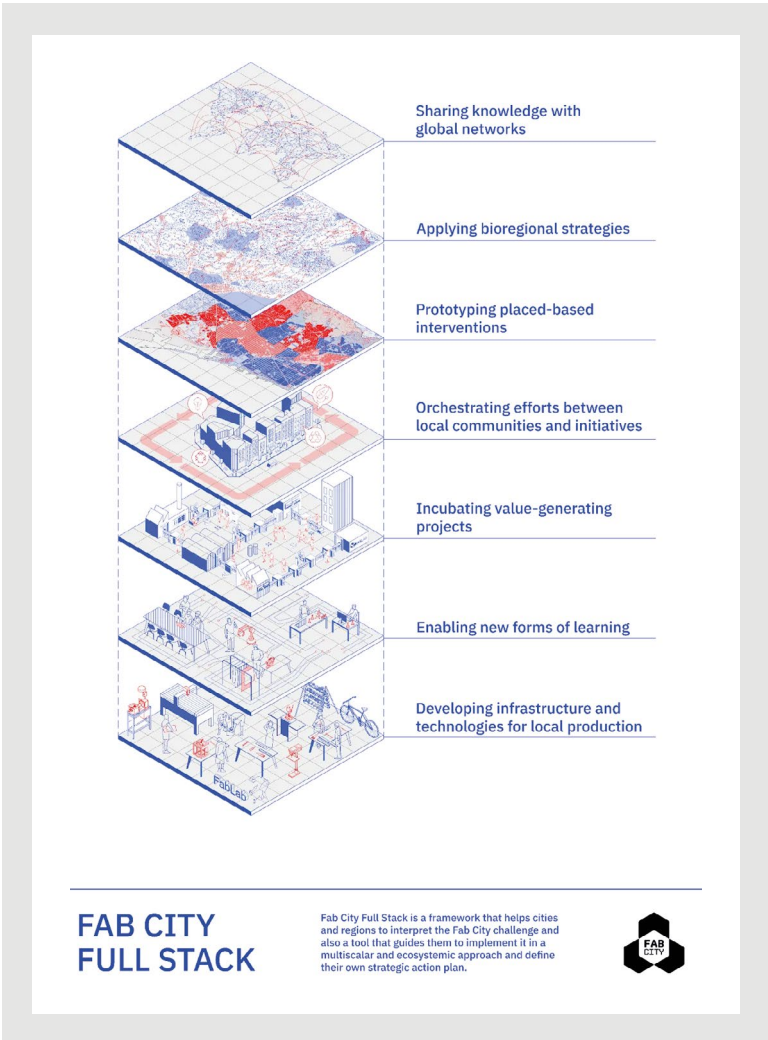


Fig. 1. Las siete capas del Fab City Full Stack.
 Fuente: Diez Ladera et al., 2024.

Fig. 1. The seven layers of the Fab City Full Stack.
 Source: Diez Ladera et al., 2024.



Fig 2. Taller de preparación de bioplásticos desarrollado en la Fundación Chiquihue.
 Fuente: www.bioplasticoterritorial.com

Fig 2. Bioplastics preparation workshop held at Chiquihue Foundation.
 Source: www.bioplasticoterritorial.com

DISEÑO REGENERATIVO: TECNOLOGÍAS, COMUNIDADES Y ECOSISTEMAS

En sentido opuesto a las escalas mencionadas anteriormente en el Poder de Diez, podríamos establecer un rango que comience por la escala humana y finalizando en los micrómetros, escalas de las células. Al igual que los microbiólogos, biólogos, ecólogos, desde el diseño debemos identificar aquella meso-escala material (Vivanco & Yuan, 2020) en la cual podemos intervenir de forma local y, al mismo tiempo, producir integraciones a nivel ecosistémico.

Dejar de producir objetos nocivos (novel entities) no es una alternativa, es una necesidad, por lo que se requiere tanto adoptar prácticas de diseño distribuido (Tironi et al., 2024) como buscar regenerar el daño producido en el sistema planetario. El proyecto Bioplástico Territorial (s/f) es un claro ejemplo de cómo implementar una estrategia de diseño e innovación distribuida bajo estos principios.

Por encargo del Gobierno Regional de Los Lagos y a partir de la necesidad específica de agregar valor a las algas producidas en la región de Los Lagos de Chile, se desarrolla un plan piloto metodológico basado en la articulación de tres vectores: mapeo de la biomasa disponible, articulación de actores locales y desarrollo de dos tecnologías, una material (bioplásticos) y otra digital, un software de Inteligencia Artificial para predecir potenciales recetas de bioplásticos de acuerdo con requerimientos técnicos específicos. El proyecto conectó (Figura 2) a recolectores de algas de playas, organizaciones civiles, emprendedores, empresas e investigadores para crear un ecosistema de intercambio de valor basado en el monitoreo continuo de la disponibilidad de la biomasa de alga *Agarophyton chilensis* (Pelillo), logrando un equilibrio sistémico. A la vez, el proyecto se sistematizó en un *toolkit* abierto como herramienta estratégica para tomadores de decisiones en el sector público, investigadores y actores locales interesados en promover iniciativas en torno al bioplástico a partir de algas.

DESDE LA COMPUTACIÓN MATERIAL HACIA UNA COMPUTACIÓN PLANETARIA

Dar forma a la materia no es solo un acto de plasticidad; es, desde una perspectiva sistémica, una manera de informar un material para que este responda a dinámicas culturales, ambientales, económicas y funcionales. Desarrollar un nuevo bioplástico o biomaterial no debiese ser solo el tecnicismo del dominio de los biocompuestos; sus proporciones y proceso de producción constituyen también un acto de activismo y transformación. Identificar y coordinar todas las variables que inciden en el desarrollo de un proyecto de estas características implica pensar los materiales como un agente vivo, el cual puede recibir y procesar información para generar un determinado *outcome*, tal como lo hace un computador.

El comportamiento de un material puede ser programado físicamente, no solo desde una perspectiva formal, sino también desde su dimensión productiva, cultural y social. Para ello, es necesario incorporar lógicas del pensamiento computacional, el cual no depende ni de computadores, ni microcontroladores. Por otra parte, la programación de materiales no requiere, necesariamente, de nano tecnología, ni de materiales artificiales. Los conceptos de pro-

REGENERATIVE DESIGN: TECHNOLOGIES, COMMUNITIES, AND ECOSYSTEMS

As opposed to the scales mentioned above in the Power of Ten, we could establish a range starting from the human scale and ending at the micrometre, cellular scales. Like microbiologists, biologists, and ecologists, we must identify the material mesoscale (Vivanco & Yuan, 2020) in which we can intervene locally and, at the same time, produce integrations at the ecosystemic level.

Halting the production of harmful items is essential, not optional. This requires adopting distributed design practices (Tironi et al., 2024) and efforts to restore the damage inflicted on the planetary system. The Territorial Bioplastic project (n.d.) is a clear example of how to implement a distributed design and innovation strategy under these principles.

*The Regional Government of Los Lagos has commissioned a methodological pilot project to add value to the algae produced in the Los Lagos region of Chile. This project is being developed based on the coordination of three key components. Mapping the available biomass, articulate local actors, and developing two technologies, one material (bioplastics) and the other digital, an artificial intelligence software to predict potential bioplastic recipes according to specific technical requirements. The project connected (Figure 2) beach seaweed collectors, civil organisations, entrepreneurs, companies and researchers to create a value ecosystem exchange based on continuous monitoring of the availability of *Agarophyton chilensis* (Pelillo) seaweed biomass, achieving a systemic balance. Simultaneously, the project was organised into an accessible toolkit designed as a strategic resource for decision-makers in the public sector, researchers, and local stakeholders interested in advancing algae-based bioplastic initiatives.*

FROM MATERIAL TO PLANETARY COMPUTING

Shaping matter is not only an act of plasticity but also, from a systemic perspective, informing a material to respond to cultural, environmental, economic, and functional dynamics. Developing a new bioplastic or biomaterial should concern more than just the technicality of the biocomposite domain. Its proportions and production process are also an act of activism and transformation. Identifying and coordinating all the variables that affect the development of a project with these characteristics implies thinking of the materials as a living agent that can receive and process information to generate a given outcome, just as a computer does.

The behaviour of a material can be physically programmed, not only from a formal perspective but also from its productive, cultural, and social dimensions. To do this, it is necessary to incorporate the logic of computational thinking, which does not depend on computers or microcontrollers. On the other hand, materials programming does not necessarily require nanotechnology or artificial materials. The concepts of programming, intelligence, and consciousness have been widely addressed in artificial intelligence. However, applying them to materials and objects is possible by allowing them to interact to drive changes in incessantly changing environmental settings. This analysis studies the internal structures that enable self-organisation in response to environmental agents. A theoretical, conceptual, and applied understanding of computation (Terzidis, 2003) enables us to explore design opportunities from a systemic and emergent perspective (Johnson, 2002). This approach helps us understand the planet as a system that maintains a metastable equilibrium.

gramación, inteligencia y consciencia han sido abordados ampliamente desde la Inteligencia Artificial; sin embargo, es posible aplicarlos a materiales y objetos entregándoles la capacidad de interactuar para conducir cambios en entornos ambientales en constante cambio. Esto, por medio del análisis y estudio de sus estructuras internas para controlar su autoorganización iniciada por agentes medioambientales de su entorno. La comprensión teórica, conceptual y aplicada de la computación (Terzidis, 2003) nos permite abordar las oportunidades de diseño desde una perspectiva sistémica y emergente (Johnson, 2002), entendiendo el planeta desde la autorregulación de un equilibrio metaestable.

Al operar en una escala hiper local como, por ejemplo, programar un *software*, un material, gestionar recursos, o articular acciones comunitarias, se inducen cambios y transformaciones específicas y de impacto inmediato y local. Pero cuando estas están alineadas con otras escalas, como las ciudades y biorregiones, y se les da un enfoque sistémico y regenerativo, el impacto se hace global y de escala planetaria.

Lejos de la idea tecnócrata, pero cercana desde la perspectiva filosófica, de la computación como una infraestructura global y mega estructura accidental (Bratton, 2016), podemos plantear que diseñar para el planeta no es más —ni menos— que identificar, comprender e integrar las variables necesarias para el diseño de soluciones inocuas y beneficiosas para nuestro sistema planetario, dejando atrás las novel entities para acercarnos hacia las *harmless entities* (entidades no dañinas), mediante el diseño e innovación distribuida para promover la práctica de la computación planetaria. ①

Specific changes and transformations are induced with immediate and local impact when operating at a hyper-local scale, such as programming software, material, managing resources, or articulating community actions. Nevertheless, when these are aligned with other scales, such as cities and bioregions, and given a systemic and regenerative approach, the impact becomes global and planetary.

Far from the technocratic idea, but close from a philosophical perspective, of computing as a global infrastructure and accidental mega-structure (Bratton, 2016), we can argue that designing for the planet is no more—and no less—than identifying, understanding, and integrating the necessary to design variables harmless and beneficial solutions for our planetary system, leaving novel entities behind to move towards harmless entities, through design and distributed innovation to promote the practice of planetary computing. ①

REFERENCIAS / REFERENCES

- Bioplásticos Territorial: A data-driven platform for the development of bioplastics from marine biomass. FONDEF IT20i0127.
- Brand, S. (2008). *The clock of the long now: Time and responsibility*. Basic Books.
- Bratton, B. H. (2016). *The stack: On software and sovereignty* (1st ed.). The MIT Press.
- Buchanan, R. (2019). Systems thinking and design thinking: The search for principles in the world we are making. *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 5(2), 85-104. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2019.04.001>
- Diez Ladera, T., Niaros, V., & Ferro, C. (2024). The Fab City full stack. In M. Moritz, T. Redlich, S. Buxbaum-Conradi, & J. P. Wulfsberg (Eds.), *Global collaboration, local production*. Springer Gabler pp. 13-26. https://doi.org/10.1007/978-3-658-44114-2_2
- Eames, C., & Eames, R. (Directores). (1978). *Powers of ten: A film dealing with the relative size of things in the universe and the effect of adding another zero* [Película].
- Fab City Foundation. (2022). *Policy brief 1*. Fab City Foundation.
- Johnson, S. (2002). *Emergence: the connected lives of ants, brains, cities, and software*. Penguin Books.
- Kendall, M., & Beer, S. (1960). Cybernetics and management. *The Economic Journal*, 70(279), 391. <https://doi.org/10.2307/2228744>
- Mohamed Nor, N. H., Kooi, M., Diepens, N. J., & Koelmans, A. A. (2021). Analysis of the influence of microplastic biofilm formation on the transport of hydrophobic organic chemicals in freshwater. *Environmental Science & Technology*, 55(8), 5084-5096. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07384>
- Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., ... & Hauschild, M. Z. (2022). Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental Science & Technology*, 56(3), 1510-1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>
- Richardson, K., Steffen, W., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(38), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Terzidis, K. (2003). *Expressive form: A conceptual approach to computational design*. Taylor & Francis.
- Tironi Rodo, M. C., Vivanco Larrain, T., & Mollenhauer Gajardo, K. A. (2024). Hacia un diseño distribuido en escenarios de crisis: Fricciones y futuros de los colectivos de la fabricación digital en Chile.
- Vivanco, T., & Yuan, P. (2020). Cooking objects: Bio-digital material driven design methodology. In *Proceedings of the 24th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics (SIGraDi)* (pp. 10.5151/sigradi2020-127). <https://doi.org/10.5151/sigradi2020-127>