

**SELECCIÓN DE ESCRITOS SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

*"INTELIGENCIA ARTIFICIAL: ALGUNOS ASPECTOS DE SU IMPACTO"*

*Centro de Estudios en Tecnologías Inteligentes (CETI)*

**SERIE CONTRIBUCIONES COMPILADAS N° 6**



**ANCBA 2022**

Ferreri, Juan Carlos

Inteligencia artificial : algunos aspectos de su impacto / Juan Carlos Ferreri ; compilación de Juan Carlos Ferreri. - 1a edición especial - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, 2022.

CD-I, iBook

ISBN 978-987-537-171-2

1. Inteligencia Artificial. I. Título.  
CDD 006.301

Fecha de catalogación: 3/2022

Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires

Av. Alvear 1711, 3º piso – 1014 Ciudad de Buenos Aires – Argentina

**El presente trabajo se encuentra disponible sólo en versión electrónica**

[www.ciencias.org.ar](http://www.ciencias.org.ar)

correo-e: [info@ciencias.org.ar](mailto:info@ciencias.org.ar)

La publicación de los trabajos de los Académicos y disertantes invitados se realiza bajo el principio de libertad académica y no implica ningún grado de adhesión por parte de otros miembros de la Academia, ni de ésta como entidad colectiva, a las ideas o puntos de vista de los autores.

ISBN 978-987-537-171-2



# INDICE

|   |     |
|---|-----|
| <i>Presentación</i><br>Juan Carlos Ferreri  | 1   |
| <i>Introducción y análisis preliminar</i><br>Juan Carlos Ferreri  | 2   |
| <i>Neurociencia, Inteligencia Artificial y Neuro-Derechos</i><br>Lilian Del Castillo  | 7   |
| <i>Presente y Futuro de la Robótica en el Ámbito Civil: El Desafío Jurídico</i><br>Marcelo Urbano Salerno   | 18  |
| <i>Perspectivas Filosóficas ante las Tecnologías Inteligentes</i><br>Roberto J. Walton  | 25  |
| <i>Armas Inteligentes ¿Limitación y Control?</i><br>Nataschia Arcifa  | 37  |
| <i>Inteligencia Artificial. recalculando hacia su adopción responsable</i><br>Laura Cecilia Diaz Dávila   | 45  |
| <i>Las Tecnologías Inteligentes (Tis), clasificación y fronteras</i><br>Daniela López De Luise  | 70  |
| <i>Sistemas Inteligentes aplicados a expresiones artísticas</i><br>Fernando Furundarena   | 86  |
| <i>Sistemas Inteligentes y Ética</i><br>Antonio A. Martino  | 96  |
| <i>Industria 4.0 Complejidad y Sistemas Ciber físicos</i><br>Orlando Micolini y Carlos A. Barto   | 127 |
| <i>Análisis de los cambios en los modelos dinámicos de procesos del comportamiento social durante la pandemia Covid19</i><br>Julián Antonio Pucheta | 140 |
| <i>Nuevos modelos de decisión y operadores de agregación – gestión de recursos y procesos</i><br>David Luis La Red Martínez                         | 156 |
| <i>Las Tecnologías Inteligentes: Múltiples Aspectos de su Impacto</i><br>Mario Solari   | 201 |
| <i>Sobre los Autores</i>  | 218 |

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL: ALGUNOS ASPECTOS DE SU IMPACTO

## PRESENTACIÓN

Juan Carlos Ferreri

El 14 de diciembre de 2021 tuvo lugar el X Encuentro Interacadémico 2021 sobre “*La Inteligencia Artificial. Una mirada multidisciplinaria*”. En este encuentro se presentaron dieciocho contribuciones de diferentes Academias y que fueron publicadas en un volumen especial dedicado a ellas<sup>1</sup>. La Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires contribuyó con un trabajo de múltiples autores titulado: “La Inteligencia Artificial: múltiples aspectos de su impacto”<sup>2</sup>. La necesaria brevedad de los textos sugirió anunciar la publicación de un libro con versiones extendidas de dichos textos, a las que se sumaron otras cuatro contribuciones. El presente volumen es la compilación de todo ese material. Es conveniente aclarar aquí que hay algunas redundancias inevitables entre los artículos, producto de la omnipresencia de algunos ítems. La cuestión ética asociada a las aplicaciones y a los desarrollos es uno de ellos. Con todo, es necesario haber mantenido dichas redundancias al efecto de sostener la continuidad de los razonamientos.

Me resulta importante agradecer a los autores por sus contribuciones y a mis colaboradores Lic. Karina Líbano por su trabajo de edición y su permanente colaboración y Prof. Juan Cejas por la coordinación y colaboración en las presentaciones remotas de algunas de las conferencias.

---

<sup>1</sup> Ferreri J.C., Romero, J.L., Introducción, en *Inteligencia artificial: una mirada multidisciplinaria*, Solanet, M. A. y Marti, M. (Eds.), 1<sup>st</sup> Edición, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Academia Nacional de Ciencias Morales y Políticas, ISBN 978-987-99575-8-5, pp.13-17, 2021.

<sup>2</sup> Ferreri, J.C., Arcifa, N., Del Castillo, L., López De Luise, D.L., Martino, A.A., Pérez†, C.A., Pucheta, J., Salerno, M.U., Solari, M.J., *Las tecnologías inteligentes: múltiples aspectos de su impacto*, en Solanet, M. A. y Marti, M. (Eds.), 1<sup>ra</sup> Edición, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Academia Nacional de Ciencias Morales y Políticas, ISBN 978-987-99575-8-5, pp. 43-57, 2021

## INTRODUCCIÓN Y ANÁLISIS PRELIMINAR

Juan Carlos Ferreri

Se ha tomado y ampliado la introducción del trabajo de la Referencia 1 de la Presentación pues contiene conceptos válidos para introducir este volumen. Al mismo tiempo se han considerado aspectos asociados a la evolución de las Tecnologías Inteligentes (TIs) y su interacción con la Industria, la perspectiva filosófica ante las TIs y la adopción responsable de la IA.

La consideración de la Inteligencia Artificial (IA) ha crecido notablemente en todos los ámbitos de la actividad humana. Este volumen es un ejemplo de los variados aspectos en que afecta la vida social y personal. La generalidad con que se usa la terminología ha llevado a distintos grupos de expertos a formular definiciones precisas. Tales definiciones no son definitivas; por el contrario, son modificadas con frecuencia, a medida que la expansión de nuevas tecnologías -liderada por la industria informática- alimenta las consideraciones en el campo académico. Una discusión de fondo, siempre renovada, se refiere a la distinción entre la inteligencia<sup>3</sup> y la conciencia humana<sup>4</sup>.

Es conveniente tener en cuenta, como marco conceptual, una definición formal reciente del Grupo de Expertos de Alto Nivel en IA, que generaliza una previa<sup>5</sup>, generada en el ámbito de la Unión Europea. La definición adoptada de IA expande y actualiza la definición previa

*“.. para clarificar algunos aspectos de la IA como disciplina científica y como tecnología para evitar malentendidos, alcanzar un conocimiento común de la IA que pueda ser utilizado por no-expertos en IA y para proveer detalles que puedan ser útiles para la discusión de lineamientos de aspectos éticos y de recomendaciones en políticas de IA.”* El documento concluye que *“Los sistemas de Inteligencia Artificial (IA) son sistemas de software (y posiblemente también de hardware) diseñados por humanos (los humanos*

---

<sup>3</sup> La Inteligencia puede definirse como la capacidad de encontrar una respuesta a los problemas que plantean situaciones nuevas. En el caso de la experiencia sensible realiza una reestructuración de sus materiales a fin de organizarlos de otra manera. En el caso de la vida intelectual hace frente a los problemas que suscitan cuestiones formuladas lingüísticamente como teorías, conjeturas o interrogantes. En todos los casos, el ejercicio de la inteligencia contrasta, por su asociación con la novedad, con conductas que se sustentan en la adquisición de hábitos o la asociación con experiencias pasadas.

(Comunicación privada del Académico Dr. Roberto J. Walton)

<sup>4</sup> La Conciencia se caracteriza por una relación entre dos polos, es decir, el acto por el cual el yo junto con su vida subjetiva accede a un objeto que se destaca sobre el trasfondo del mundo. Esta apertura se realiza principalmente en actos de percepción, y de sus derivados como la rememoración y la espera, que se relacionan con el mundo, y en actos de empatía que se relacionan con otros seres humanos y lo que es extraño como los objetos culturales. La conciencia de caracteriza también por la posibilidad de volver sobre sí misma en un acto de reflexión. Esta autoconciencia está precedida y posibilitada por una autopercepción más radical implicada en la conciencia temporal que tenemos de nuestros actos y que se presenta como una reflexión incipiente.

(Comunicación privada del Académico Dr. Roberto J. Walton)

<sup>5</sup> Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on Artificial Intelligence for Europe, Brussels, 25.4.2018 COM(2018) 237 final.

*diseñan los sistemas de IA directamente o pueden ser asistidos por sistemas de IA para optimizar su diseño) que, dado un objetivo complejo, actúan en una dimensión virtual o física por percepción de su ambiente a través de la adquisición de datos, interpretando los datos recolectados de manera estructurada o no estructurada, razonando sobre el conocimiento adquirido o procesando la información derivada de los datos y decidiendo sobre la mejor acción a tomar para el lograr el objetivo asignado. Los sistemas de IA pueden utilizar reglas simbólicas o aprender un modelo numérico y pueden también adaptar su comportamiento analizando como su ambiente es modificado por sus acciones previas.”*

El documento contiene varios aspectos relacionados con los diversos tipos de aproximaciones y técnicas que emplea la IA. En función de los tipos de actividades posibles, se puede considerar que todas ellas están presentes en la IA. Este enfoque permite la consideración de un agrupamiento general que engloba la IA y es consistente con la aproximación de la IEEE a la cuestión, bajo la denominación de Inteligencia Computacional.<sup>6</sup> La importancia de la actividad multidisciplinaria está implícita en la creación reciente del “Center for Research on Foundation Models (CRFM), del Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence (HAI), Stanford University, EEUU. En este sentido es útil considerar su informe fundacional<sup>7</sup>. Una institución líder en el desarrollo de Tecnologías Inteligentes (TIs) es también el Massachusetts Institute of Technology (MIT), EEUU. Los avances en las actividades relacionadas con las Tecnologías Emergentes pueden ser consultadas a través de su actividad de difusión o en la bibliografía científica relacionada.

Es importante definir que es la IA para poder considerar que cosa no es. Para ello veamos otra vez la definición referida a los seres humanos<sup>3</sup> y tratemos de establecer sobre esa base el concepto de la artificialidad. En su forma más simple consistiría en generar de manera algorítmica y sobre la base de una enorme cantidad de información, acciones para poder afrontar situaciones nuevas y generar soluciones novedosas. Se debe notar que se ha postulado que el ejercicio de la inteligencia contrasta con la habitualidad y la asociación con experiencias pasadas. Esto es difícil de asociar a una forma algorítmica convencional pues se emparenta directamente con la creatividad. En efecto, del análisis de información (son experiencias pasadas) es posible establecer correlaciones constructivas que estaban implícitas en los datos y que no eran discernibles por una limitada capacidad de procesamiento. Esa importante consecuencia no está asociada a la creatividad. Una definición posible<sup>8</sup> que considera la dada por J. McCarthy en 2004<sup>9</sup> sería: "Es la ciencia y la ingeniería de la fabricación de máquinas inteligentes, especialmente programas informáticos inteligentes. Está relacionada con la tarea similar de usar computadoras para entender la inteligencia humana, pero la IA no tiene que limitarse a métodos que son biológicamente observables".

---

<sup>6</sup> IEEE Computational Intelligence Society, ¿What is Computational Intelligence? 17/02/2020

<sup>7</sup> Rishi Bommasani et al., On the Opportunities and Risks of Foundation Models, Center for Research on Foundation Models (CRFM), Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence (HAI), Stanford University.

<sup>8</sup> <https://www.ibm.com/ar-es/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>

<sup>9</sup> [https://borghese.di.unimi.it/Teaching/AdvancedIntelligentSystems/Old/IntelligentSystems\\_2008\\_2009/Old/IntelligentSystems\\_2005\\_2006/Documents/Symbolic/04\\_McCarthy\\_whatissai.pdf](https://borghese.di.unimi.it/Teaching/AdvancedIntelligentSystems/Old/IntelligentSystems_2008_2009/Old/IntelligentSystems_2005_2006/Documents/Symbolic/04_McCarthy_whatissai.pdf)

A medida que se desarrollan nuevas herramientas asociadas a la IA, surgen conceptos interesantes como el denominado “la Singularidad”<sup>10</sup> Se trata de “un periodo futuro en el que el régimen de cambio tecnológico será tan rápido y su impacto tan profundo que la vida humana será transformada irreversiblemente”. La Singularidad será alcanzada cuando se complete la fusión de lo biológico y la máquina y se postula que en la post-Singularidad no habrá distinción entre hombre y máquina o entre lo físico y lo virtual. Debe tenerse en cuenta que esto se aplica al ejercicio de la inteligencia. Cuestionable o no, esta visión -que tiene ya quince años- da una idea de la amplitud de las miradas sobre la evolución tecnológica y sus consecuencias. Por otra parte, se especula que esta situación se alcanzaría cerca de 2045<sup>10</sup>. Como es de imaginar, hay considerable controversia sobre la posibilidad de lograr una superinteligencia (capaz de crear generalizaciones que la superen) debido a las particularidades de la inteligencia humana (que tiene definiciones borrosas) y de las que carecen las máquinas. Una discusión interesante<sup>11</sup> al respecto puede hallarse en dicha referencia que fue convocada inicialmente con un enfoque escéptico respecto a la Singularidad. Para ello se invocaron características humanas que van más allá de la lógica y el raciocinio y que se mezclan con las atinentes a la consciencia, como ser contar con propósitos, objetivos, fines últimos, pasión, deseos, placer, estética, alegría, curiosidad, valores, moralidad, sabiduría, experiencia, sabiduría y discernimiento. Es de notar que, para el ejercicio de la inteligencia, no es necesario contar con todos estos atributos.

Supongamos, a título de ejemplo, que se especifica un objetivo a un algoritmo. El propósito es satisfacer el requerimiento asociado al objetivo. Es posible que el algoritmo satisfaga el pedido, pero ¿por qué debería persistir en el esfuerzo más allá de ampliar la base de datos existente -supuesto que eso sea una de las instrucciones-? Para ello debería tener alguna de las particularidades mencionadas, que van más allá el ejercicio de la inteligencia y nos pone en el campo de las máquinas conscientes.

La creación de máquinas conscientes permanecerá por muchos años en el marco de la especulación y es actualmente parte de trabajos principalmente filosóficos. La aparición de robots humanoides (en realidad la apariencia humanoide es consecuencia de la fantasía pues bien puede ser un armario) capaces de hacer una mímica del razonamiento del comportamiento humano y de los sentimientos contribuye a generar confusión fuera de los ámbitos de especialistas. Algunas actividades, como el lenguaje natural y su comprensión son un ejemplo notable del procesamiento de grandes masas de datos con aplicación la discusión puede verse en el IBM Project Debater<sup>12</sup>. Otro aspecto importante está asociado a las artes<sup>13</sup> pues implica la creatividad. Actualmente hay fuerte discusión sobre que es creativo, en particular en la música. Grandes bases de datos y una IA asociada permiten generar música con un estilo que es casi indistinguible del estilo original (las sonatas de Bach son un ejemplo interesante). Sin embargo, es lo que hemos denominado creaciones imitativas. Según lo que se expresa, un músico virtuoso mezcla y sintetiza diversas creaciones para generar una nueva forma de arte. Es difícil asociar la creatividad a una

---

<sup>10</sup> Kurzweil, Ray, “The singularity is near: when humans transcend biology”, Penguin, 2005

<sup>11</sup> Special Issue *Information* (ISSN 2078-2489):

<https://www.mdpi.com/journal/information/specialissues/AI%26Singularity>

<sup>12</sup> Slonim, N. et al., An autonomous debating system, *Nature*, vol. 591, pp 379-384, 2021

<sup>13</sup> En <https://btmusic.com/> “Genesis.json is the lifelong realization of an artistic dream: A one-of-one piece of software containing a 24-hour, audio and visual, adaptive composition. Created over a ten-month period and using over 15,000 hand-sequenced audio and visual events; Genesis.json is composed from vintage synthesizer performances, coded beats, and self-created video. All elements are delivered through custom audio/video software from blockchain directly to web browser”.

máquina pues para ello es necesario generar artificialmente los aspectos antes mencionados.

Una de las cuestiones más importantes se da en el marco de la generación y aplicación de las leyes, puesto que gobiernan la coexistencia social. La IA y las grandes bases de datos son un soporte de la actividad, pero en este terreno no hay reemplazo razonable de la acción humana. El zanjado automático de las disputas puede admitirse solamente para cuestiones muy menores y bajo estricta regulación. Sin embargo, debe siempre existir la posibilidad de un descargo y su valoración requiere la intervención humana. Ejemplo: una multa originada por detenerse ante un semáforo de tránsito sobre una banda peatonal y registrada fotográficamente tiene validez indubitable. Sin embargo, la infracción podría eventualmente haber evitado un daño mayor, cuestión justificable en el momento, y eso no lo puede valorar una máquina y a posteriori.

Hay aplicaciones que generan preocupación cuando se aplican a la calificación de las personas. Es difícil evitar que arrastren los sesgos ideológicos, étnicos o sociales de los desarrolladores cuando evalúan, por ejemplo, las particularidades étnicas o económicas de distintos grupos de personas. Estos sesgos, inevitables en cualquier calificación humana, al ser aplicados por una máquina suman al riesgo de la aparente objetividad el ocultamiento de la responsabilidad.

La ética es uno de los aspectos que importan cuando está asociada a la IA. La IA es solo una herramienta y los conceptos éticos se aplican a los desarrolladores y a los objetivos asociados a la aplicación desarrollada. La asociación con las neurociencias genera un campo de especulación sobre la base de los neuroderechos, que se analiza en este volumen. Un buen ejemplo de esa interacción puede encontrarse en las reuniones específicas<sup>14</sup> donde los desarrolladores consideran de manera exhaustiva las cualidades que deben reunir las aplicaciones y su interacción con la neurotecnología.

La necesidad de la regulación de las aplicaciones de la IA no puede ser suficientemente enfatizada. Ejemplo de ello son los sistemas de armas letales autónomas (LAWS por su sigla en inglés) que, elegido un blanco, aseguran el éxito de la misión. Las aplicaciones han comenzado, con asesinatos selectivos. Es interesante considerar que, si se establece que la decisión es de la máquina (del algoritmo), el atacante humano queda libre de responsabilidad. Hay documentos<sup>15</sup> que establecen pautas éticas para la aplicación de la IA en la defensa. Tal vez la defensa, entendida para salvaguardar la propia integridad puede aceptarse en una ética limitada. La duda que surge inmediatamente es: ¿qué es la ética de la guerra? Según un viejo adagio, la mejor defensa es un buen ataque... Al parecer, estas aplicaciones de la IA, sumándose a otros mecanismos de ocultamiento de las responsabilidades de quienes toman las decisiones, están profundizando el proceso de naturalización de la guerra.

En este volumen, dedicado a la "Inteligencia Artificial: algunos aspectos de su impacto", se abordan algunos de los distintos aspectos en que la IA ya está modificando la vida humana tal como la conocemos. La lectura de los trabajos permite tener una idea

---

<sup>14</sup> S. Berger y Francesca Rossi, The Future of AI Ethics and the Role of Neurotechnology, AIofAI'21: 1st Workshop on Adverse Impacts and Collateral Effects of Artificial Intelligence Technologies, Montreal, CA, 2021

<sup>15</sup> Zoe Stanley-Lockman, Responsible and Ethical Military AI, Allies and Allied Perspectives CSET Issue Briefing, 2021

actualizada de las distintas visiones y aplicaciones de la IA en un limitado pero importante abanico de actividades y particularmente sobre la dimensión ética del desarrollo de sus aplicaciones. Las perspectivas filosóficas ante la tecnología son un ejemplo de la manifiesta multidisciplinariedad de los enfoques.

## NEUROCIENCIA, INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y NEURO-DERECHOS

Lilian Del Castillo

1. **Introducción.** Los neuro-derechos son un objeto de regulación jurídica que reconoce los históricos fundamentos éticos y jurídicos de protección de la integridad de las personas, pero se consolida con identidad propia en el Tercer Milenio, producto de la conjunción de ámbitos científicos diversos que se vinculan entre sí, a saber, como la biología, la neurología y la informática, que hacen posible el acceso a la actividad cerebral de los seres humanos de una manera que no se consideraba posible. Sólo rozaré como cronista estas complejas ramas científicas repartidas en múltiples especialidades para llegar al mundo acogedor de las ciencias jurídicas que me conducirán a los `derechos del cerebro´ o neuro-derechos.

2. **Biología y neurología.** Explorando territorios en transformación, es recomendable definir la materia a la que vamos a referirnos.

El Diccionario de la RAE define a la Biología como “la ciencia que trata de los seres vivos considerando su estructura, funcionamiento, evolución, distribución y relaciones,” no sólo los seres vivos sino de sus células y moléculas, que son el objeto de investigación de la biología celular o molecular. Define asimismo a la Neurología como la "ciencia que se ocupa del sistema nervioso o de cada uno de sus diversos aspectos y funciones especializadas,"<sup>1</sup> y son las que “dan origen a la conducta de los seres humanos.”<sup>2</sup>

3. **Neurotecnología.** Como parte de las neurociencias, la neurotecnología ha desarrollado métodos para registrar, interpretar o alterar la actividad cerebral y tienen por lo tanto la capacidad de modificar la actividad mental y cognitiva, que se produce por la interacción de los circuitos neuronales. En el centro de la neurotecnología se encuentra la interfaz cerebro-computadora (ICC-BCI's), es decir el plan, procedimiento, o técnica que conecta el cerebro de una persona a una computadora o a otro instrumento fuera del cuerpo humano, como un teléfono celular. Estas interfaces<sup>3</sup> permiten una comunicación bidireccional entre el cerebro y el mundo exterior, exportando datos del cerebro o alterando la actividad cerebral y operan de dos maneras diferentes. Pueden ser invasivas ubicadas dentro del cráneo

---

<sup>1</sup> Diccionario de la Real Academia Española, Edición del Tricentenario, Actualización 2020.

<sup>2</sup> Manes, F. y Niro, M., *Usar el cerebro*, Ed. Paidós, 2015, Barcelona, España, 21.

<sup>3</sup> Interface: the place at which independent and often unrelated systems meet and act on or communicate with each other; RAE: Interfase: *biol.* Período entre dos divisiones sucesivas de una célula; *fis.y quim.* Superficie de separación entre dos fases. Interfaz: 1. *Inform.* Conexión, física o lógica, entre una computadora y el usuario, un dispositivo periférico o un enlace de comunicaciones; 2. Conexión o frontera común entre dos aparatos o sistemas independientes.

humano o no invasivas, como un casco sobre la cabeza. Si bien se usan desde hace décadas en medicina para superar discapacidades, también pueden usarse para aumentar la capacidad del cerebro con microchips conectados a computadoras, como el *Neuralink* diseñado por la empresa de Elon Musk., en la que se implanta un chip en el cerebro para reemplazar funciones dañadas.<sup>4</sup>

4. **Imagenología.** Expertos en el tema recuerdan que “el uso de neurotecnologías, capaces de influir sobre la función y los procesos del sistema nervioso no es una novedad. Ya se utilizó en gases nerviosos como el sarín [en la 1ª. Guerra Mundial] y en sustancias estupefacientes como las anfetaminas. Si bien existen avances que podrían generar agentes tóxicos o drogas más potentes y específicas, ahora surgen nuevas tecnologías diseñadas para entender el cerebro y modular la función cerebral.”<sup>5</sup> Específicamente la imagenología, o sea el "estudio y utilización clínica de las imágenes producidas por los raxos X, el ultrasonido, la resonancia magnética" (RNM) y otros medios, permite observar la actividad del cerebro, observación que permitiría predecir lo que se está pensando. Sin duda, esto podría ser, o es, una invasión de la privacidad individual al poseer la capacidad de intervenir el cerebro. Estas posibilidades que despliega la ciencia podrían ayudar a que haya cerebros con mayor capacidad, tal vez con o sin conexiones extracorpóreas, como ya se utilizan para generar estímulos y superar discapacidades. La implantación de microchips es un procedimiento utilizado para el tratamiento de algunas enfermedades, como el Parkinson precoz o permitir que personas hipoacúsicas puedan escuchar. Más aún, merced a la superconductividad, la nanomedicina podrá producir nanobots, robots que pueden penetrar el cuerpo humano para combatir infecciones, desobstruir arterias, liberar fármacos a nivel celular, alterar el código genético para impedir dolencias genéticas, intervenir las neuronas, destruir virus, bacterias y células cancerígenas, avances maravillosos. Y tal vez algunas facetas inquietantes.

5. **Inteligencia artificial (IA).** Simultáneamente, la programación en informática avanza de manera cuantitativa y cuenta con nuevas posibilidades, reunidas en la Inteligencia Artificial, una apasionante y compleja herramienta de la cual esta Academia puede exhibir con orgullo un Instituto que lleva a cabo una pionera actividad. La IA es transversal a las ciencias, una avenida de conocimiento que nos envuelve en ineludibles redes. Influye de manera evidente a veces y de manera invisible en otras, en las decisiones diarias, inducidas por ofertas derivadas de las preferencias que detectan los datos que proporcionamos de manera consciente o inconsciente los usuarios digitales. El big data, la potencia progresiva de las computadoras y el refinamiento de la programación, confluyen para producir algoritmos<sup>6</sup> que permiten hacer cálculos,

---

<sup>4</sup> Neuralink estudia el ámbito de la interfaz neuronal (cerebro-ordenador). El objetivo es utilizar la tecnología para reemplazar las **funciones** cerebrales comprometidas por traumas o enfermedades neurodegenerativas, <https://www.nobbot.com> , 12 may 2021

<sup>5</sup> Manes, F. y Niro, M., *El cerebro del futuro ¿Cambiará la vida moderna nuestra esencia?* Ed. Planeta, 2019, España, 51.

<sup>6</sup> Algoritmo: secuencia de operaciones; conjunto de instrucciones, reglas o serie metódica de pasos que puede utilizarse para hacer cálculos, resolver problemas y tomar decisiones (Cosentino, Patricio M., MJDOC-15982-AR / MJD 15982, Microjuris.com)

resolver problemas y tomar decisiones que imitan, sustituyen y superan la capacidad del cerebro humano en muchas actividades y por ello se denominan "inteligentes".

Las técnicas de la IA "se basan en construir una base de conocimiento para detectar, predecir y reconocer patrones en los datos." Y continúa con los medios para obtener la base de conocimiento: "Esto se logra a partir de una combinación de computadoras, bases y conexiones a través de internet, algoritmos, lenguajes de programación y otros recursos para resolver problemas o tomar decisiones más eficientemente que nuestras capacidades cognitivas." La inteligencia es "artificial" porque la ejecuta una máquina y no una persona humana, y es "inteligencia" porque ejecuta procesos que sólo se asociaban con la mente humana, a saber, el "aprender" y "resolver problemas" La IA tiene dos ramas principales, la IA basada en conocimiento y la IA basada en datos, cada una de ellas con múltiples elementos.<sup>7</sup> En la definición de las Naciones Unidas, la IA es una constelación de procesos tecnológicos que permiten que las computadoras complementen o reemplacen tareas específicas que de otro modo serían ejecutadas por seres humanos<sup>8</sup>

**6. Algoritmos.** El algoritmo es el método o proceso, en suma, "el conjunto de reglas computacionales que define una secuencia de operaciones para tomar una entrada y la convierte en una salida."<sup>9</sup> Los algoritmos son la herramienta que permite que un conjunto de datos se convierta en información y conocimiento. Los múltiples aplicativos que se utilizan sin pausa y ofrecen servicios, artículos y opciones, es decir finalidades comerciales, son también formas de influir en las opiniones personales y en las preferencias de los usuarios. Si bien se perciben de manera consciente, la rutinaria y constante cesión de datos que el usuario acepta no va acompañada del acceso y menos aún el control de los usos de esa información, que alimenta los algoritmos de la IA. Esto no es un rechazo a una tecnología revolucionaria y sin retorno que ya nos ha transformado, sino reconocer que es deseable y, más aún, necesario, que no sea una tecnología sin límites éticos ni legales, una revolución situada más allá de la ética y del derecho.

**7. Neurociencia y neuroderechos.** La vinculación entre neurociencia y neuroderecho surge de la nueva permeabilidad de la mente humana, que plantea desafíos radicales a la intimidad de las personas y reclama derechos que la protejan. En efecto, la libertad última es la libertad de pensamiento.<sup>10</sup> Acceder a ese núcleo reservado al superarse límites físicos que se consideraban inalterables no puede ser irrestricto, porque amenaza la autonomía individual, amparada por los derechos

---

<sup>7</sup> Corvalán, Juan G., *et Al.*, "Inteligencia Artificial. Bases Conceptuales", en Corvalán Juan G., *et Al.*, *Tratado de Inteligencia Artificial y Derecho*, Ciudad A. de Buenos Aires, La Ley, 2021, T. I. 24-26; 41-48.

<sup>8</sup> AGNU, Res. 73/348, Promoción y protección del derecho a la libertad de opinión y expresión", 29.VIII.2018

<sup>9</sup> Corvalán, Juan G., *idem.*, p. 21.

<sup>10</sup> Yuste, R., Genser, J., Hermann, S., "It's Time for Neuro-Rights", *Horizons*, CIRSD Center for International Relations and Sustainable Development, Winter 2021, No. 18.

personalísimos y por los derechos humanos, que deberán ahora contemplar nuevos desafíos para resguardar la indeclinable intimidad de las ideas.<sup>11</sup>

El nuevo objeto de regulación reclamado a la ciencia jurídica se ha denominado "neuro-derecho," una categoría normativa de la que no hay una definición comprensiva, tal vez porque no se han tipificado sus elementos constitutivos. Abordar los "neuro-derechos" implica entonces entrar en materia maleable pero no carente de principios jurídicos, siendo el derecho un universo autosuficiente en el que cada norma se subsume en la jerarquía normativamente superior y la norma superior valida el sistema. Y será el tribunal el que determinará en el caso justiciable la norma aplicable.

8. **Proyecto BRAIN.** Universidad de Columbia-USA: El Centro de Neurotecnología de la Universidad de Columbia (USA) lleva adelante desde 2013 el Proyecto BRAIN (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies), bajo la dirección del profesor Rafael Yuste, que busca comprender las redes sinápticas del cerebro. Esta investigación ha enunciado algunos derechos esenciales, a los que denomina neuro-derechos, que deberían ser regulados, a saber,

1. el derecho a la privacidad mental [intimidad]
2. el derecho a la identidad personal
3. el derecho al libre albedrío, referido a la toma de decisiones, que no debe ser manipulada por neuro-tecnologías externas.
4. el derecho al acceso equitativo al aumento de la neuro-cognición
5. el derecho a la protección de sesgos algorítmicos

En el mismo Proyecto se propone una agenda de neuro-derechos para ser ejecutada por las Naciones Unidas, por ser la Organización que tiene la finalidad de promover y proteger los derechos humanos a nivel universal. Se propone entonces que la Organización tenga un plan de acciones a corto y largo plazo para generar *momentum* para la protección de los neuro-derechos. En el corto plazo, la tarea que debería encararse sería la de obtener consenso en la definición de lo que se entiende por neuro-derechos, así como la de crear una Comisión Internacional Científica y Legal de Expertos en Neuro-derechos (International Science and Law Expert Commission on Neuro-Rights). En la agenda de largo plazo, propone a través de la Asamblea General y del Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas elaborar un nuevo tratado sobre neuro-derechos o un protocolo a los tratados existentes de derechos humanos para agregar los neuro-derechos. Por último, se propone crear un ente especializado para coordinar las actividades globales relacionadas con los neuro-derechos que podría codificar los neuro-derechos en un tratado específico de derechos humanos.

---

<sup>11</sup> Yuste, Rafael, *et al.*, *idem* n.5.

**9. Aplicación responsable de las Neurotecnologías.** Un nutrido grupo de especialistas en neurotecnología, incluidos los que trabajan en el proyecto BRAIN, elaboró diez *Recomendaciones para el Desarrollo y la Aplicación Responsables de las Neurotecnologías*,<sup>12</sup> partiendo de la premisa que hay nuevos avances y al mismo tiempo buenas razones para preocuparse. En efecto, estos desarrollos abarcan desde la percepción a la memoria, la imaginación, las emociones, las decisiones y las acciones. Las Recomendaciones se enfocan en cuatro áreas, a saber, a) la identidad y la dependencia (agency), b) la privacidad, c) la parcialidad o prejuicio (bias), y d) la mejora (enhancement).<sup>13</sup> Sólo nos referiremos a la primera, que dice “Crear un marco jurídico de derechos humanos que incluya “neuro-derechos” que protejan la libertad mental, la privacidad mental y la integridad mental.” Y lo proponen porque afirman como probable que en el futuro cercano las personas pueden necesitar que se les reconozca expresamente el derecho a mantener su espacio mental interior libre de ser grabado y manipulado sin su conocimiento y se podría evitar que alguien pueda impunemente definir la identidad de otro, o lo haga ejerciendo su autoridad sobre otro, y protegería a los individuos de intrusiones no queridas.

**10. Derechos básicos a ser reconocidos.** Algunos especialistas en el tema proponen un reconocimiento de tres derechos: 1) el derecho a la privacidad mental, que consideran que ya es un derecho emergente del que sólo puede discutirse su alcance como derecho absoluto o relativo; 2) el derecho a la integridad mental, ya que la intrusión cerebral puede tener un impacto directo en su sistema neuronal y dañarlo de manera directa; y 3) el derecho a la continuidad psicológica, es decir, de la percepción que las personas tienen de su propia identidad, que puede ser alterada por la estimulación y la modulación de las funciones cerebrales, como la que se realiza en zonas del cerebro mediante electrodos que llevan de forma continua corrientes de baja intensidad.<sup>14</sup>

Debe reconocerse al mismo tiempo que declarar un derecho es un avance decisivo que implica la puesta en marcha del camino hacia su cumplimiento, pero no tiene el poder mágico de hacerlo inmediatamente aplicable. Podemos comprobar en muchos ámbitos que elaborar un catálogo de derechos no es lo mismo que obtener la aplicación de esos derechos.

**11. Proyecto legislativo de Chile.** Fuera de las propuestas de incorporar los neuro-derechos por las Naciones Unidas, Chile tiene un proyecto de ley y un proyecto de reforma constitucional aprobados este mes para incorporarlos a su legislación. En abril de 2021 el Presidente Sebastián Piñera mencionó en la 27ma. Cumbre Latinoamericana, que tuvo lugar en Andorra que Chile avanza en esos proyectos para garantizar los "derechos del cerebro" destinados a proteger la "identidad personal" y la de "conciencia" y "la capacidad de elegir libremente" de cada individuo,

---

<sup>12</sup> Goering, Sara *et al*, Recommendations for Responsible Development and Application of Neurotechnologies, Neuroethics, <https://doi.org/10.1007/s12152-021-09468-6>, on line 29April2021

<sup>13</sup>

<sup>14</sup> Ienca, Marcello & Andorno, Roberto, "Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology," *Life Sciences, Society and Policy* (2017)

haciendo un llamamiento a los países iberoamericanos para proteger adecuadamente no sólo los datos e información sobre las personas, sino también sus pensamientos, sus sentimientos y su información neuronal, para evitar que puedan ser manipulados.

El Proyecto de Ley que establece la Neuroprotección, tiene 10 artículos (sigue los lineamientos del Proyecto liderado por el Profesor Yuste en la Universidad de Columbia). Establece sus objetivos en el primer artículo y en el artículo 2 incluye las definiciones de Neurotecnologías, Interfaz cerebro-computadora (ICC), Datos neuronales y Neuroderechos: Nuevos derechos humanos que protegen la privacidad e integridad mental y psíquica, tanto consciente como inconsciente, de las personas del uso abusivo de neurotecnologías. Luego establece las Medidas para proteger la integridad y privacidad mental. Declara prohibida toda intromisión de conexiones neuronales a nivel cerebral mediante el uso de neurotecnología sin el consentimiento expreso e informado del usuario, inclusive en circunstancias médicas (art. 3) y establece que el límite de cualquier intervención de conexiones neuronales será siempre la protección de los sustratos mentales de la identidad personal (art. 4.2). El Título III, se refiere al Desarrollo de la investigación y el avance de las neurotecnologías. El art. 8, in fine, dispone que "...métodos o instrumentos que permitan una conexión directa de dispositivos técnicos con el sistema nervioso tendrán siempre como límite las garantías fundamentales, en especial, la integridad física y psíquica de las personas conforme a lo señalado en el art. 1."

El Proyecto de Chile de reforma constitucional se propone como un inciso intercalado en el art. 19.1 de la Constitución Política del Estado como inciso 2º: y declara que,

"La integridad física y psíquica permite a las personas gozar plenamente de su identidad individual y de su libertad. Ninguna autoridad o individuo podrá, por medio de cualquier mecanismo tecnológico, aumentar, disminuir o perturbar dicha integridad individual sin el debido consentimiento. Sólo la ley podrá establecer los requisitos para limitar este derecho, y los requisitos que debe cumplir el consentimiento en estos casos."

Este párrafo se está considerando y tiene propuestas de modificación por parte de diputados y senadores. Una versión actual expresa que "El desarrollo científico y tecnológico estará al servicio de las personas y deberá proteger su vida e integridad física y psíquica, inclusive la actividad cerebral e información proveniente de ella. La ley establecerá los requisitos y restricciones que permitan asegurar su debido resguardo, así como las condiciones para su utilización en las personas."

**12. Neuroderechos en el derecho argentino.** En el derecho argentino no se ha planteado la regulación de los neuro-derechos, pero la idea de regularlos está en conocimiento del Congreso Nacional. En 2020, se propuso crear en el Senado de la Nación el "Observatorio permanente de seguridad informática e impacto de la Inteligencia Artificial," con jerarquía de Dirección General y bajo la dependencia

orgánica y funcional de la Presidencia del H. Senado (art. 1) El Observatorio estará integrado por diez científicos, académicos y profesionales expertos en la materia, con desempeño *ad-honorem*, que podrán a su vez nombrar colaboradores en la cantidad y condiciones que determine la Presidencia del Cuerpo (art.3). Su finalidad es brindar a los senadores el soporte técnico necesario para la elaboración de propuestas legislativas tendientes a la promoción del desarrollo nacional de dichas tecnologías y a su implementación (art. 2). Las funciones del Observatorio son muy amplias y están descriptas en el art. 5, inc. a)-m)

En 2019 se propuso por ambas Cámaras del Congreso Nacional la creación del Consejo Federal de Inteligencia Artificial, a fin de estudiar los temas relacionados con el estudio, la investigación y la difusión de la Inteligencia Artificial.

**13. Legislación argentina aplicable.** Existe en Argentina legislación susceptible de amparar los neuro-derechos, los neuro-datos y la privacidad e inviolabilidad de las ideas, es decir, el **derecho a la privacidad o intimidad mental y a la identidad personal**. Se incluyen a continuación las normas específicas que pueden ser aplicadas en ese contexto.

### **13.1. Constitución Nacional**

**Artículo 19.** “Las acciones privadas de los hombres que de ningún modo ofendan al orden y a la moral pública, ni perjudiquen a un tercero, serán solo reservadas a Dios, y exentas de la autoridad de los magistrados. Ningún habitante de la Nación será obligado a hacer lo que no manda la ley ni privado de lo que ella no prohíbe.” El **derecho a la privacidad** emana directamente de esta disposición constitucional. La neurotecnología podría estar en condiciones de vulnerar el derecho a la privacidad y a la intimidad del pensamiento. Frente a esta posibilidad surge el desafío de establecer los límites legales que impidan la violación de ese derecho.

Además del Artículo 19 de la Constitución Nacional, destinado a la protección de la intimidad mental y la identidad personal, derechos que podrían verse vulnerados frente a los avances de la neuro-tecnología, existen normas que protegen parte de lo que se denomina actualmente neuro-derechos. Ellos son,

### **13.2. Código Civil y Comercial de la Nación**

#### **Capacidad**

Artículo 23: “Toda persona humana puede ejercer por sí misma sus derechos, excepto las limitaciones expresamente previstas en este Código y en una sentencia judicial.”

#### **Restricciones a la capacidad**

Artículo 31, ... “d) la persona tiene derecho a recibir información a través de medios y tecnologías adecuadas para su comprensión; ... f) deben priorizarse las alternativas terapéuticas menos restrictivas de los derechos y libertados...”

### **Capítulo 3. Derechos y actos personalísimos.**

**Artículo 52:** “Afectaciones a la dignidad. La persona humana lesionada en su intimidad personal o familiar, honra o reputación, imagen o identidad, o que de cualquier modo resulte menoscabada en su dignidad personal, puede reclamar la prevención y reparación de los daños sufridos, conforme a lo dispuesto en el Libro Tercero, Título V, Capítulo I”. Se indica la aplicación de la teoría del daño y la responsabilidad civil a las agresiones personales.

**Artículo 55:** “El consentimiento para la disposición de los derechos personalísimos es admitido si no es contrario a la ley, la moral o las buenas costumbres. Este consentimiento no se presume, es de interpretación restrictiva, y libremente revocable.”

**Artículo 56:** “Están prohibidos los actos de disposición del propio cuerpo que ocasionen una disminución permanente de su integridad o resulten contrarios a la ley, la moral o las buenas costumbres, excepto que sean requeridos para el mejoramiento de la salud de la persona, y excepcionalmente de otra persona, de conformidad a lo dispuesto en el ordenamiento jurídico. La ablación de órganos para ser implantados en otras personas se rige por la legislación especial. El consentimiento para los actos no comprendidos en la prohibición establecida en el primer párrafo no puede ser suplido, y es libremente revocable.”

### **13.3. Ley 25.326 de Protección de Datos Personales.**

**Artículo 1°:** “La presente ley tiene por objeto la protección integral de los datos personales asentados en archivos, registros, bancos de datos u otros medios técnicos de tratamiento de datos, sean éstos, sean estos públicos o privados, o privados destinados a dar informes, para garantizar el derecho al honor y a la intimidad de las personas, así como también el acceso a la información que sobre las mismas se registre, de conformidad a lo establecido en el art. 43, par. 3° de la CN” Es un contenido amplio, abarcando el mayor número de hipótesis que se puedan presentar sobre tratamiento de datos y que puedan afectar la intimidad de los pensamientos y como corolario la identidad personal. Debe tenerse en cuenta que el cerebro humano es una gran base de datos. Los neuroderechos buscan protegerla aún en aquellos casos en que exista consentimiento, y determina el alcance que puede tener ese consentimiento.

### **13.4. La ley 24.240 de Protección y Defensa de los Consumidores-**

Esta ley está destinada a la regulación del consumo, dispone el deber de información en sus disposiciones sobre Información al consumidor y protección de su salud, que implica el consentimiento informado que requiere la neuro-tecnología.

### **13.5. Derecho al libre albedrío, referido a la toma de decisiones.**

#### **Código Civil y Comercial de la Nación**

**Artículo 958.** Lo reconoce expresamente con respecto a los contratos, que lo limita con los requerimientos del orden público, la moral y las buenas costumbres. Es decir, es un libre albedrío adaptado a las normas sociales de convivencia. Esta disposición está vinculada al Art. 260, que dispone que “El acto voluntario es el ejecutado con discernimiento, intención y libertad, que se manifiesta por un hecho exterior”. Concepto de respeto al libre albedrío y la libertad individual, ahora reducida y posiblemente amenazada por los algoritmos de los macrodatos.<sup>15</sup>

Los tres primeros derechos parecerían estar vinculados y subsumidos uno dentro del otro, como diferentes ángulos dentro del enunciado amplio, triangular, del derecho a la intimidad personal.

### **13.6. Acceso equitativo al aumento cognitivo.**

#### **Constitución Nacional**

**Artículo 75.** Corresponde al Congreso:

.....

19. Proveer lo conducente al desarrollo humano [...] a la investigación y al desarrollo científico y tecnológico, su difusión y aprovechamiento.

#### **Ley 23.592 sobre Actos discriminatorios**

**Artículo 1.** Quien arbitrariamente impida, obstruya, restrinja o de algún modo menoscabe el pleno ejercicio sobre bases igualitarias de los derechos y garantías fundamentales reconocidos en la Constitución Nacional, será obligado, a pedido del damnificado, a dejar sin efecto el acto discriminatorio o cesar en su realización y a reparar el daño moral y material ocasionados. A los efectos del presente artículo se considerarán particularmente los actos u omisiones discriminatorios determinados por motivos tales como raza, religión, nacionalidad, ideología, opinión política o gremial, sexo, posición económica, condición social o caracteres físicos.”

#### **Ley 27.506 sobre Régimen de promoción de la economía del conocimiento**

---

<sup>15</sup> Harari, Yuval Noah, *21 lecciones para el siglo XXI*, ed. Debate, Buenos Aires, 65 y 68.

**Artículo 2:** "... tiene como objeto la creación, diseño, desarrollo, producción e implementación o adaptación de productos y servicios y su documentación técnica asociada, tanto en su aspecto básico como aplicado, incluyendo en que se elabore para ser incorporado a procesadores y/u otros dispositivos tecnológicos...tales como inteligencia artificial, robótica e internet industrial, internet de las cosas, sensores, manufactura aditiva, realidad aumentada y virtual."

Se encuentran adheridas a esta ley las Provincias de Entre Ríos, La Rioja, Chaco, Catamarca, Chubut, Santa Fe y Córdoba y la Capital Federal.

La Ciudad de Buenos Aires adopto el 10-12-2020 el Régimen de Promoción de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones en el Distrito Tecnológico.

### **13.7. Derecho a la protección de sesgos algorítmicos.**

Normas generales sobre deberes de prevenir los daños y sobre la responsabilidad por los hechos y las actividades riesgosas se encuentran incorporados en nuestra legislación.

#### **Código Civil y Comercial de la Nación**

**Artículo 1710. Deber de prevención del daño.** Toda persona tiene el deber, en cuanto de ella dependa, de a) evitar causar un daño no justificado; b) adoptar, de buena fe y conforme a las circunstancias, las medidas razonables para evitar que se produzca un daño, o disminuir su magnitud.

**Artículo 1757. Hechos de las cosas y actividades riesgosas.** Toda persona responde por el daño causado por el riesgo o vicio de las cosas o de las actividades que sean riesgosas o peligrosas por su naturaleza, por los medios empleados o por las circunstancias de su realización.

**14. Resumen.** Dos son los aspectos centrales desde el punto de vista jurídico para comenzar a transitar el nuevo escenario que la tecnología nos proporciona. La protección de la intimidad personal, es decir, los neuroderechos vinculados a la protección de los derechos de las personas, y el derecho al acceso a esas tecnologías. Puesto que, si bien las nuevas tecnologías podrán aumentar la capacidad de las personas, eso no será de acceso general, por el contrario, serán costosas y limitadas. Ambos aspectos, la protección de la inviolabilidad de las ideas y el acceso a los nuevos desarrollos tecnológicos, son un desafío para el derecho y, más aún, para las instituciones que deberán procurar que no sean derechos declamados sino aplicados.

No se puede perder de vista que la ciencia no es apolítica. Porque las personas no son apolíticas, y son las que producen la tecnología y la neurotecnología. Los

métodos y programas que la desarrollan son creados por seres humanos, los programadores, es decir las organizaciones proveedoras de la tecnología. Estas personas e instituciones tienen sus propias convicciones, ideas o puntos de vista. ¿Se puede evitar que las incorporen en sus programas? De ninguna manera.

La nueva etapa que ya transitamos se designa como cuarta revolución industrial, y brinda a las personas nuevas herramientas, tal vez frágiles, para mejorar su calidad de vida. Al mismo tiempo, existe el riesgo de ser conducidos sin el conocimiento o el consentimiento deseables hacia una pérdida creciente de identidad. O a adquirir una identidad inducida por las posibilidades de la combinación de neurociencia e inteligencia artificial. El cerebro sería el hardware y podría tener un aumento cognitivo mediante la neurotecnología, mientras que la actividad mental, los pensamientos y sentimientos, serían el software. ¿Serían super seres humanos? ¿Una persona con partes no biológicas, deja de ser “humana”? Sería un camino de despersonalización que conduciría al transhumanismo, que se describe a sí mismo como una aspiración de mejorar a la especie humana sin que pierda su humanismo. Proceso que llevaría, finalmente, al posthumanismo, un nuevo modelo de seres humanos.<sup>16</sup>

Es notorio que tenemos muchos más interrogantes que respuestas, pero es apasionante estar viviendo esta etapa, el lanzamiento del futuro.

---

<sup>16</sup> Santiago Bilinkis, *Pasaje al futuro*, Sudamericana, Buenos Aires, 2018, 130; Bachrach, E. *En cambio, aprendé a modificar tu cerebro para cambiar tu vida y sentirte mejor*, Sudamericana, Buenos Aires, 2014, 26.

# PRESENTE Y FUTURO DE LA ROBÓTICA EN EL ÁMBITO CIVIL: EL DESAFÍO JURÍDICO

Marcelo Urbano Salerno

“Quien ha mirado lo presente ha mirado todas las cosas: las que ocurrieron en el insondable pasado, las que ocurrirán en el porvenir”. Marco Aurelio (121-180)

## I.- LA ROBÓTICA. ANTECEDENTES. DEFINICIÓN. BIOLOGÍA Y FÍSICA.

### CARACTERÍSTICAS. EJEMPLOS.

Posiblemente en la actualidad se considere que la robótica es el producto de la inteligencia artificial. En cambio, sus antecedentes permiten afirmar que primero ha sido fruto de la imaginación de mentes iluminadas y visionarias que percibieron la posibilidad de la existencia de entes mecánicos autónomos. A partir de este momento del presente histórico, ambos elementos -inteligencia y mecánica- coinciden en el tiempo, operando en forma simultánea. Es pura casualidad, tal vez por los avances progresivos de la tecnología que ahora los combina y los emplea asociados. Se advierte de inmediato que todo ese esfuerzo intelectual responde a la idea que el conocimiento tiene un nivel interdisciplinario, porque cada ciencia en particular no es una rama aislada de un enorme árbol que las sustenta. Desde los siglos XVI al XVIII los filósofos de occidente impusieron a las matemáticas como el lenguaje de la técnica y de la ciencia para formular teorías y principios que tienen vigencia hasta el día de hoy en la materia. A fin de desarrollar una inteligencia de la gravedad como objetividad ideal se recurre a la geometría.

Durante la última década del siglo XX se registró una revolución tecnológica en la telefonía (los celulares), en la computación y en los sistemas informáticos (internet), así también en la biotecnología. Los avances fueron de tal magnitud que abrieron el camino a una innovación masiva en todos los aspectos de la vida y el surgir de la sociedad robótica. Respondieron a la ambiciosa tendencia a producir cosas artificiales<sup>1</sup>.

Nació entonces la cibernética, ciencia que estudia los medios de transmitir información a los seres vivos mediante máquinas y centros de datos. La expresión cibernética deriva etimológicamente del vocablo griego “kubernete”, que quiere decir piloto. Tiene dos vertientes, una biológica, y otra física. Esta última, la física, analiza los métodos de comunicación y regulación automática de los seres vivos para elaborar sistemas electrónicos y mecánicos. Ello permite construir y manejar artefactos que efectúan cálculos y operaciones complicadas. De ahí derivó la idea de establecer un paralelismo entre un

---

<sup>1</sup>MC.NALL BURNS Edward, “Civilizaciones de Occidente. Su historia y su cultura”, traducción de Ruben A. Laporte, edit. Siglo veinte, 13ª ed., Buenos Aires, 1980, tomo II, pág. 932, sostiene que en la tercera revolución industrial se logró relacionar la electrónica con la automatización.

movimiento mecánico, sujeto a una información previa, y la ejecución de un acto reflejo, sujeto a una impresión sensorial. De manera tal que se pueden emplear modelos eléctricos para simular el comportamiento humano. Algunos investigadores fueron más allá, utilizando una extrapolación, para sostener que los fenómenos sociales obedecen a las informaciones suministradas por los “medios” y las “redes”<sup>2</sup>, problemas que podrían ser resueltos con engranajes matemáticos. Los sistemas ciberfísicos pertenecen a la ingeniería dedicada a la integración de las comunicaciones, procesos físicos de computación y tecnología en red, aplicados en forma automática.

Robótica deriva de la palabra robot que, en el idioma checo, significa trabajo. Esa palabra la introdujo en la literatura de ficción el escritor Karel Capek el año 1921. En la pieza de teatro “R.U.R.”, ese escritor describió a una cosa dotada de las características de un individuo del género humano (“homo artefactus”). Se anticipó a su época -vivió entre las dos guerras mundiales- para proyectarse hacia el porvenir. Lejos de ser la fantasía de su intelecto, indagó sobre la factibilidad de hacer funcionar un artefacto autogenerado, mediante la energía surgida de la conexión entre el trabajo y el calor, causantes de fuerza motriz. Fue un transgresor a las reglas de la naturaleza sobre el origen de los seres vivientes, reglas estudiadas por la biología. De modo que Capek planteó una hipótesis absurda, cual es la posibilidad de crear un humanoide en reemplazo de un trabajador, según sus ideas políticas del momento. El absurdo también lo utilizó Franz Kafka (1883-1924), en varios relatos sobre animales. En ellos escribió cómo un “mono ingresó al mundo de los humanos y se instaló firmemente en él”<sup>3</sup>. Una máquina patética la imaginó quien realizó el experimento de tratar de convertir la persona humana en un robot. Isaac Asimov (1920-1992) adquirió fama tempranamente al dedicarse a este fantástico tema en el relato intitulado “Circulo vicioso” (1942), el que prosiguió narrando en numerosos libros. En cinematografía se cultivó la ciencia ficción, como la célebre película “Tiempos Modernos” (1936), interpretada por Charles Chaplin, hasta nuestros días en que se estrenará “Finch” con el actor Tom Hanks.

Esta idea, que contradice el principio de Luis Pasteur (1822-1895)<sup>4</sup>, se fue desarrollando a “posteriori” en el campo de los cuerpos físicos, puesto que algunos investigadores se atrevieron a fabricar una máquina apta de trasladarla de un lugar a otro sitio, moviéndose por sí misma. Es decir, crearon mecanismos con autopropulsión para hacer una determinada tarea. La bibliografía dedicada al tema es numerosa y se fue publicando gradualmente. El mundo pareciera irse deshumanizando y todo podría ser cosificado, desde una perspectiva unilateral que intenta hacer prevalecer la materia sobre el espíritu, mientras la subjetividad va perdiendo vigencia y cede el paso a la culpa objetiva. Uno de sus precursores ha sido el filósofo Jean Batiste Lamarck (1744-1829), quien negó la inmutabilidad de las especies y enunció una teoría transformista o transhumanista para explicar su evolución. Albert Einstein (1879-1955) decía que estamos sumergidos en un

---

<sup>2</sup> SALERNO Marcelo Urbano y FERRERI Juan Carlos, “La condena social y la condena judicial. Redes sociales, valores y reivindicación eventual”, en SOLANET Manuel A. y MARTÍ Manuel L., “Redes sociales: educación y valores”, VIII Encuentro Interacadémico 2019, edit. Academia Nacional de Ciencias Morales y Políticas, Buenos Aires, 2019, p’ags. 40/52, entre otras contribuciones de las ACADEMIAS.

<sup>3</sup> KAFKA, “Un informe para una academia”, en “El buitro”, traducción de Jorge Luis Borges, biblioteca de Babel, edit. Librería La Ciudad, Buenos Aires, 1979, pág 69.

<sup>4</sup> Pasteur sostuvo que nada, ni nadie, puede llegar a existir por generación espontánea. El estudio de la formación del individuo desde su concepción hasta la madurez recibe el nombre de ontogenia. La técnica de clonación de los mamíferos contraría la reproducción natural; ovejas clonadas (Dolly en 1996) y caballos.

universo en evolución. La cibernética fue obra de Norbert Wiener (1894-1964)<sup>5</sup>, científico que influyó en la creación de las computadoras electrónicas en su primera generación. Corresponde citar a otros dos autores. Alan Mathison Turing (1912-1954), creó un patrón para las operaciones con procesadores digitales e ideó una máquina universal; y Joseph Licklider (1915-1990), estudió la simbiosis entre el hombre y la máquina, en una asociación para que las máquinas colaboren con los seres humanos.

Reina gran inquietud intelectual en torno a la robótica. Prueba de ello han sido las jornadas “Mythes et machines-Robotique et Intelligence Artificiel: penser la technologie aujourd’hui”, que se realizaron en la ciudad de París el día de hoy (24 de noviembre de 2021), organizadas por la Académie des Sciences y la Académie des Sciences Morales de la República francesa<sup>6</sup>. Participaron destacados científicos, entre otros Jean Paul Laumond, Sebastien Candel, Yves Fregnac y Gentiane Venture. Del mismo modo la Universidad de Extremadura (España) desarrolló un curso este año sobre “La cibernética y el mundo del mañana” dictado por el profesor Blas M. Vinagre.

Se enunció la siguiente definición: la robótica es la inteligencia artificial en el mundo físico. Un robot –según la Comisión Europea<sup>7</sup>– es una máquina dinámica que debe actuar en el mundo físico pleno de incertidumbre. La percepción, la acción, y el aprendizaje, se integran en el control arquitectónico del sistema robótico; aún está pendiente la posibilidad de razonar. Las características que distinguen a un robot son las siguientes: inexistencia de vida en sentido biológico; capacidad de adquirir autonomía mediante sensores, y la información recibida; capacidad de auto aprendizaje, la experiencia y la interacción; un soporte físico mínimo; y capacidad de adaptar su conducta y acciones al entorno.

España creó un Comité de automática (CEA) el cual publicó en el año 2011 el “Libro blanco de la robótica en España. Investigación, tecnología y formación”. Es una obra de gran interés donde se puede analizar la siguiente variedad de robots para determinadas áreas de la actividad humana. A modo de ejemplo citaré: usos domésticos, educación y entretenimiento, juguetes y mascotas, parques temáticos y exposiciones, hostelería, sanidad (cirugía, rehabilitación, prótesis, hospitales, etc.), medio ambiente, seguridad civil, entre otros. Esta breve enunciación permite advertir la multiplicidad de servicios que pueden prestar los artefactos mecánicos autónomos para la humanidad.

Han existido numerosos progresos científicos en la robótica. Durante la Segunda Guerra Mundial, se emplearon bombas voladoras autónomas para atacar la ciudad de Londres, bombas de tres tipos según su alcance: la V1, la V2 y la V3. El lugar de lanzamiento era una localidad francesa al borde del Canal de la Mancha; esas bombas causaron muchas víctimas y serios daños materiales, pero no consiguieron vencer al adversario.

Durante ese conflicto bélico ambos bandos desarrollaron artefactos para derrotar al enemigo y superarlo técnicamente, fenómeno producto de la investigación científica y de la actividad industrial en gran escala. Terminada la contienda, y puesta en evidencia la supremacía militar de los aliados, pronto se advirtió la necesidad de aplicar los logros

---

<sup>5</sup> WIENER Norbert, “Cibernética: control y comunicación en el animal y en la máquina” (1948).

<sup>6</sup> <https://www.academie-sciences.fr/fr/>.

<sup>7</sup> Véase el documento emitido el 8 de abril de 2019 por el “High-Level expert group of artificial intelligence” que lleva por título “A definition of AI: main capabilities and disciplines”.

obtenidos para fines pacíficos. Así hizo su aparición la robótica en numerosos campos, vale decir, surgieron sistemas a fin de sustituir a los seres humanos en sus funciones motrices.

No ha sido una simple fantasía la conquista del espacio. Corresponde a la astronáutica el estudio de todos los aspectos de los vuelos espaciales. El primer satélite artificial fabricado por la Unión Soviética fue puesto en órbita el año 1957 por un cohete R-7; fue considerado un robot que recibió el nombre de Sputnik 1. Tiempo después, los Estados Unidos de Norte América lanzaron hacia Marte el robot explorador “Perseverance” a cargo de la NASA (sigla de la “National Aeronautics and Space Administration”).

Un ejemplo que nos llega de cerca es la búsqueda del submarino ARA San Juan hundido en el océano Atlántico hace cuatro años. Luego de varios intentos fallidos, el buque fue hallado mediante cinco submarinos autónomos operados desde la nave “Ocean Infinity”, empresa norteamericana de exploración. Fueron utilizados drones subacuáticos con capacidad para operar hasta 6000 metros de profundidad, los que poseían energía con baterías muy sofisticadas, sensores de conductividad, temperatura y profundidad, perfiladores del subsuelo marino y cámaras de alta definición (obtuvieron 77.000 imágenes).

Estos ejemplos integran el cuadro de la robótica, tecnología que se aplica hoy día entre otras actividades a la industria automotriz, la industria aeronáutica y la industria naval. Sirvan a ello los vehículos autónomos<sup>8</sup>, los drones, los buques sin tripulación...

## II.- DERECHO Y REGULACIÓN. RESPONSABILIDAD POR LOS DAÑOS. FUTUROLOGÍA.

Del punto de vista ético-jurídico, en la actualidad se plantean algunos interrogantes que aguardan respuesta. Desde hace siglos, el derecho privado se estructuró sobre la base de las relaciones personales y las relaciones reales, dos columnas diferenciadas y separadas entre sí. Cuando es preciso resolver un determinado conflicto, el intérprete debe calificar la relación según que pertenezca a alguna de esas dos categorías, correspondientes a las personas y a las cosas. Esta construcción lógica no admitiría una categoría intermedia. Sin embargo, la doctrina y la jurisprudencia, debido a las circunstancias inherentes a algún problema, dieron un significado cada vez más amplio a la noción de persona jurídica y a la noción de cosa, está encuadrada como un bien material<sup>9</sup>. El cuadro estaría completo con ambas figuras si no hubiesen surgido los robots<sup>10</sup> que plantean incertidumbre.

El empleo de la palabra cosa en el idioma jurídico suscita inquietud entre los juristas a partir del siglo XIX. A esta altura de la doctrina contemporánea, el derecho emplea la palabra “bien” en reemplazo de “cosa”, utilizando un vocablo afín a la ciencia económica. De ese modo se puede distinguir mejor la noción de “objeto”, que es el contenido de los actos jurídicos. Esta cuestión supera el plano filológico para interesar a la filosofía, desde los

---

<sup>8</sup> Los AMRs son robots móviles autónomos que utilizan láseres, son dinámicos y eficaces, y tienen independencia para tomar decisiones en su entorno de trabajo.

<sup>9</sup>MAZEAUD Henri y León, y TUNC André, “Tratado teórico práctico de la responsabilidad delictual y contractual”, prefacio de CAPITANT Henri, traducción de ALCALÁ ZAMORA Luis, edit. Ejea, Buenos Aires, 1962, tomo 2-I, n° 1197, pág. 205, dicen: “la palabra cosas reviste en la hora actual (año 1957) un significado diametralmente opuesto al que tenía en 1804”.

<sup>10</sup> Una hipótesis similar podría darse si apareciera en el mundo un ser extraterrestre (E.T.).

pensadores antiguos hasta los modernos<sup>11</sup>. Las opiniones de los juristas siempre tienen sustento en alguna corriente filosófica en particular, a fin de robustecer la estructura ideológica del sistema. Se ha llegado a sostener que en el fondo el análisis adecuado debería ser antropológico, según la cultura de cada nación.

¿Existen normas específicas para las cosas animadas (humanoides) que cumplen funciones similares a los seres humanos? La respuesta debe ser negativa en virtud de la siguiente definición legal: la persona humana es un ser concebido que nace con vida y está dotado de voluntad para actuar con discernimiento, intención y libertad. El cerebro es un organismo del cuerpo, la función que cumple no puede ser suplida por un mecanismo virtual o digital<sup>12</sup>.

En su fuero interno el hombre tiene conciencia y comprensión de sus actos, allí anida el sentimiento de culpa por sus faltas y errores<sup>13</sup>. Obra con voluntad propia, autónoma, y asume sus consecuencias, vale decir, es responsable de los daños que ocasione. Nada de esto podemos notar en un aparato técnico- mecánico con movimiento en el espacio impelido por un motor.

Esta definición nos traslada a la noción del sujeto de derecho relativa a la persona que tiene derechos innatos y que también tiene deberes que cumplir. Su base es un principio fundamental del sistema jurídico argentino: el principio de centralidad del ser humano. Ese principio no es aplicable a una máquina automática con características robóticas. Producto de la civilización es haberse eliminado la esclavitud, la servidumbre y la muerte civil<sup>14</sup>; el hombre nunca es considerado cosa, admitirlo sería un grave retroceso.

Desde otra perspectiva, la ley dispensa personería -es decir, la considera persona jurídica- a la organización de un grupo de individuos unidos por el “*affectio societatis*”. El tema merece enfocarse desde una visión económica, a propósito del patrimonio, los bienes y las deudas que tienen la persona humana y el ente jurídico. Una tendencia aislada intenta demostrar que el patrimonio podría objetivarse, despersonalizarse, en razón de la finalidad que persigue, pero no obtuvo sanción legislativa<sup>15</sup>; otra tendencia pretende que el robot sea una masa de afectación.

El robot, aunque tuviese forma semejante a la de un humano y hasta tuviese cierto poder de decisión, no tiene la naturaleza de una persona, ni es un ser viviente que se basta a sí mismo. Según el derecho no es responsable de los daños que ocasionare con su accionar. Asimov formuló tres leyes fundamentales respecto de la acción de este ente dotado de movimiento automático.

Todo el régimen de la responsabilidad civil se estructura en torno a la noción del sujeto de derecho, porque no existen derechos sin sujeto, ni las cosas responden patrimonialmente por los perjuicios que causen. El legislador atribuye la responsabilidad objetiva al dueño y

---

<sup>11</sup> Véase ARCHIVES DE PHILOSOPHIE DU DROIT, “Les biens et les choses”, prefacio de VILLEY Michel, edit. Sirey, tomo n° 24, edit. Sirey, París, 1979.

<sup>12</sup> FRÉGNAC Yves expuso sobre las neuronas digitales y el cerebro artificial, en las jornadas de París, cit.

<sup>13</sup> RICOUER Paul (1913-2005) escribió al respecto sus reflexiones. Véase “Finitude et culpabilité”, edit. Aubier, París, 1960, y “Autobiografía intelectual”, traducción de Patricia Wilson, edit. Nueva Visión, Buenos Aires, 2007.

<sup>14</sup> La muerte civil fue eliminada por la ley 340, art. 103 del Código Civil que redactó Vélez Sarsfield.

<sup>15</sup> SALERNO Marcelo Urbano y SALERNO Javier José, “El patrimonio del deudor y los derechos del acreedor”, edit. Astrea, Buenos Aires, 2012, pág. 13. De ahí que el robot no puede ser un patrimonio de afectación.

al guardián de un bien material, solo cuando intervienen cosas riesgosas o viciadas a su cargo<sup>16</sup>.

Evidentemente, el robot debería tener una categoría legal específica, puesto que su fabricación se rige por el principio que no debe causar ningún daño material, ni siquiera por inacción, de modo que por definición no puede constituir un riesgo. Tiene el deber de cumplir las órdenes del operador y proteger su propia existencia. Por tanto, los robots autónomos tendrían que ser autorizados a funcionar previamente en sede administrativa, ser anotados en un Registro público especial, y ser declarada la responsabilidad objetiva del fabricante, del vendedor, del dueño, del usuario y del operador, si su accionar causare algún perjuicio material. Las personas responsables estarán obligadas a contratar un seguro a fin de cubrir los perjuicios. Resulta necesario dictar un estatuto especial<sup>17</sup> dedicado a esta cuestión trascendental que no está incluida en el Código Civil y Comercial, “corpus” que, además, precisa ser actualizado en la terminología que emplea.

Bustamante Alsina era un estudioso del tema. Hace dos décadas advertía sobre los riesgos del maquinismo, la presión de los medios mecánicos y los procesos automatizados de la cibernética<sup>18</sup>. Según el nombrado jurista el riesgo es la eventualidad, contingencia o proximidad del daño, y la cosa es riesgosa si provoca un perjuicio inevitable, a pesar del hombre<sup>19</sup>. En su opinión le cabe la responsabilidad al “tenedor latu sensu”, quien tiene la guarda jurídica y obtiene el beneficio económico, ejerciendo un poder de mando, gobierno, dirección o control de las cosas en movimiento.

Son motivo de inquietud para la navegación internacional los buques que circulan por los mares sin tripulación. A veces son transbordadores o “ferries” que realizan viajes cortos cerca de las costas. Suelen ser autónomos, piloteados desde tierra por control remoto aplicando sensores. Algunos astilleros ya los fabrican, porque tienen demanda, en razón de incrementar las ganancias, reducir los costos, y operar con mayor flexibilidad. La Organización Marítima Internacional analiza cómo regular esta clase de navegación para establecer una normativa apropiada de vigencia universal. A ese efecto contempla tres aspectos: el jurisdiccional, el técnico, y la responsabilidad por daños. Será indispensable brindar seguridad y orden, al extremo que las balizas y boyas serán de tipo activo.

Cualquier innovación tecnológica produce un impacto en el sistema jurídico, apegado al criterio clásico pero que se va adaptando a la realidad por obra de la judicatura, puesto que los fenómenos novedosos primero pasan por el tamiz judicial. La robótica ya está instalada en nuestra sociedad en varias actividades y el legislador no tardará en regular los efectos dañinos que causen. Recién después que se unifiquen los criterios, el derecho argentino se ocupará de desmenuzar los variados problemas que se susciten. El presente desafía al legislador ante el progreso de la investigación científica que avanza velozmente.

---

<sup>16</sup> Responde el dueño del animal feroz en cautiverio por el daño que ocasione a terceros, excepto que ese daño sea por la culpa de la víctima.

<sup>17</sup> Conf. DANESI Cecilia C., “¿Quién responde por los daños causados por los Robots?”, en Revista de Responsabilidad y Seguros 2018-XI-24

<sup>18</sup> BUSTAMANTE ALSINA Jorge, “Teoría de la responsabilidad civil”, edit. Abeledo Perrot, 9ª ed., Buenos Aires, 1997 nos. 1026 y 1027, pág. 401.

<sup>19</sup> BUSTAMANTE ALSINA Jorge, opus y loc. cit. nos. 1040 y 1043, pág. 413. Véase GALDOS Jorge Mario, en “Código Civil y Comercial de la Nación. Comentado”, LORENZETTI Ricardo (Director), edit. Rubinzal-Culzoni, tomo VIII, págs. 576/590, Buenos Aires, 2015. LÓPEZ MESA Marcelo, “Código Civil y Comercial de la Nación. Comentado. Anotado”, LÓPEZ MESA Marcelo y BARREIRA DELFINO Eduardo (Directores), edit. Hammurabi, tomo 10 b Buenos Aires, 2019, págs. 247/252 sobre la participación dañina de las máquinas industriales.

¿Será necesario innovar el orden jurídico y, en ese caso, habrá que implementar cambios fundamentales en la legislación?<sup>20</sup> ¿Pertenece esas posibles reformas solo al ámbito privado o también corresponderá, al ámbito público? El siglo XXI será el escenario de los debates y discusiones sobre la introducción de la robótica en todos los campos del quehacer humano. La deontología, junto a la filosofía, y sin duda otras ciencias como la biología y la física condicionarán las diversas propuestas para resolver la nueva fenomenología que asoma en nuestro mundo. Singular tarea de reflexión y pensamiento para el mañana, antes de que se despierten las furias (Erinias), obra de las máquinas creadas para el servicio de una sociedad que replantea la esencia de la noción del trabajo. Ficción y fantasía serán reemplazadas por una realidad mutante, donde los sueños serán superados en los hechos. Basta con mencionar los logros alcanzados por la robótica en la atención de los enfermos.

Resulta innegable que las transformaciones sociales ya no nos causan asombro, ni sorpresa. Llegó el tiempo para adecuar los cambios a un régimen legal previsor y estable, antes de que sea demasiado tarde. Entonces, cuando serenen las tormentas, y se calmen las aguas, podremos asegurar la paz y la concordia indispensables para la convivencia en un mundo mejor. El futuro dependerá de la capacidad del sistema institucional para afrontar los desafíos del presente.

---

<sup>20</sup> Véase Parlamento Europeo, resolución del 16 de febrero de 2017, “Normas de Derecho civil sobre robótica”, con recomendaciones a la Comisión Europea.

# PERSPECTIVAS FILOSÓFICAS ANTE LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES

Roberto J. Walton

Se consideran en la Primera Parte paradigmas tecnológicos de acuerdo con las descripciones ofrecidas por Bernhard Waldenfels sobre su historia mediante la sucesión de las versiones clásica, moderna e hipermoderna. Han sido caracterizadas según una operación fundamental, un ordenamiento fundamental y un prototipo. En el paradigma más reciente se destacan cuestiones relacionadas con la biotécnica en vista de una Segunda Parte que considera impactos de las tecnologías inteligentes. Una primera cuestión tratada atañe a la comunicación bidireccional entre el cerebro humano y elementos que se encuentran fuera del cuerpo humano. Esto plantea la necesidad de hacer frente a “los desafíos radicales a la intimidad de las personas” (Lilian del Castillo). Además, se examinan “las cuestiones éticas vinculadas a los desarrollos de las tecnologías inteligentes” (Juan Carlos Ferreri) y “los riesgos que crean” (Antonio M. Martino). Una inteligencia artificial confiable implica una supervisión humana y la afirmación de una razón amplia respecto de la racionalidad técnica. Es necesario el establecimiento de límites éticos en virtud de decisiones que afectan nuestra vida presente y futura. Por último, a modo de conclusión, se tiene en vista la capacidad humana de exponerse a lo desconocido. Esta cuestión requiere situar los riesgos en un contexto adecuado para el cual se especifican nociones filosóficas que conviene mantener vivas con el objeto de “procurar mantener el control” y hacer frente, ante las transferencias de responsabilidad a las máquinas, a “las amenazas que representan” (Mario Solari).

## *I. Modos de la técnica*

### *1. Paradigma clásico*

El paradigma clásico tiene como operación fundamental la producción para el propio uso, como ordenamiento fundamental la integración de la técnica en la naturaleza, y como prototipo la herramienta.<sup>1</sup>

Se producen útiles o instrumentos que son concebidos como algo análogo al propio cuerpo porque permiten la extensión de sus órganos con el objeto de llevar a cabo ciertas operaciones con rapidez y continuidad y hacer más livianos los trabajos difíciles. Esta técnica no es autónoma, sino que se presenta como una prolongación de la mano, el brazo o el ojo, esto es, como una imitación de la naturaleza. La herramienta se asocia con un trabajo que se debe hacer, con un modo de actividad, y por eso implica un sistema de referencias y procesos que está sujeto a reglas, es decir, se contrapone a nuestras acciones arbitrarias y escapa a los meros deseos y a la magia. La técnica no depende del azar como sucedía en un estadio anterior en la consideración de las gotas de agua como productoras de lluvia cuando se las deja caer sobre el suelo seco o como disipadoras de lluvias cuando se las arroja sobre una piedra calentada. En este caso se imitan en pequeño las cosas que aparecen y se cree poder influir sobre ellas mediante una acción mágica que responde a fuerzas vitales. A esta

---

<sup>1</sup> Cfr. Bernhard Waldenfels, *Bruchlinien der Erfahrung. Phänomenologie Psychoanalyse Phänomenotechnik*, Frankfurt am Main, Suhrkamp, 2002, pp. 363-367.

influencia sobre el mundo por medio del deseo y la magia se sustituye el descubrimiento de un orden que se puede aplicar al logro de un fin.<sup>2</sup> De ahí que el uso de instrumentos sea el presupuesto para alcanzar el concepto de una causalidad objetiva independiente de los deseos humanos. En la producción de algo la motricidad de la herramienta puede ser directa en el caso de la mano que maneja el martillo o un pico utilizando su fuerza impulsiva, o indirecta cuando se confía en el poder de volar o la trayectoria de un proyectil o en la fuerza de tracción de un animal de tiro.

La técnica se convierte en una ocupación que busca el éxito conscientemente. No depende del azar, sino de la búsqueda de una solución a un problema práctico con la ayuda del saber teórico. Es el momento del concepto griego de *téjne* que se opone a la mera experiencia empírica en la medida en que reposa sobre el conocimiento de los fundamentos que han de conducir a la obtención de resultados. La *téjne* se convierte en una disciplina teóricamente fundamentada que aspira a construir un sistema de conocimientos eficaces. Se subordina al saber teórico que es puramente contemplativo, y a la sabiduría que da sentido y valor a toda actividad humana ya sea teórica o práctica.

El paradigma clásico de la técnica ha tenido su expresión en Aristóteles. Para este pensador, en las ciencias prácticas o productivas, el principio del cambio (*arjé metaboles*) en las cosas no se encuentra en ellas mismas, sino en el agente que obra o produce. Por otro lado, mientras que la acción tiene su fin en ella misma, esto es, en la *eupraxía* o acción buena, la producción tiene su fin en algo exterior que es fabricado por el agente. Por tanto, mientras que las ciencias prácticas como la ética y la política consideran la acción o *práxis* que tiene su comienzo y su término en la persona misma que obra, las ciencias productivas consideran aquella producción o *poíesis* que da lugar a algo exterior como, por ejemplo, las obras de arte o las herramientas. Tanto en el caso de la *práxis* como en el de la *poíesis*, el principio del movimiento está en el agente que obra y produce en virtud de ese principio (*Metafísica* 1025b, 22-24). En la *práxis* o acción, el principio se encuentra en el agente que obra en la forma de una elección consciente o *prohaíresis*; en la *poíesis* o producción, el principio se encuentra en el agente que produce ya sea con una técnica (*téjne*), o en algún otro poder o facultad.

## 2. Paradigma Moderno

En el paradigma moderno, la operación fundamental es la utilización de fuerzas ajenas, la forma de ordenamiento es la dominación de la naturaleza por la técnica, y el prototipo es la máquina.<sup>3</sup>

El nuevo paradigma está unido a los restantes aspectos de la modernización en la que el sujeto se libera del orden predado de la naturaleza de la naturaleza e inicia una escisión entre un reino del espíritu en que domina el sujeto y el reino de la naturaleza en el que interviene mediante la utilización de fuerzas extrañas en beneficio propio. La producción se subordina a los poderes que están a disposición de un sujeto racional que entra en escena con sus leyes y fines que reducen la naturaleza a la condición de

---

<sup>2</sup> Se pasa del dominio mágico al dominio técnico de la naturaleza: "El poder total del mero deseo se desintegra: el obrar se encuentra bajo determinadas condiciones objetivas, de las cuales no puede apartarse. En la particularización de estas condiciones, el mundo exterior obtiene para el hombre por primera vez una existencia determinada y articulación determinada; pues para él solo pertenece originariamente al mundo lo que de algún modo concierne a su querer y obrar" (Ernst Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen. Zweiter Teil. Das mytische Denken*, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1974, p. 256. Cfr. *ibid.*, pp. 253-261).

<sup>3</sup> Cfr. B. Waldenfels, *Bruchlinien der Erfahrung*, pp. 367-369.

instrumento cuyas metas son exteriores a ella misma porque son humanas. O sea: la producción ya no está incorporada a las metas que indica una naturaleza predada. La teleología del paradigma anterior queda oculta detrás de leyes que establecen lo que debe ser. La naturaleza en tanto material es pensada a partir de la producción, y se convierte en “in resto (aún) no producible de toda producción”.<sup>4</sup>

Las intervenciones en la naturaleza suceden mediante la aplicación de fuerzas extrañas que se calculan y están orientadas a metas. La máquina automotriz que utiliza fuerzas naturales como el agua y el viento representa algo nuevo respecto de la motricidad directa e indirecta de la herramienta en el paradigma clásico. Además, con ella surgen innovaciones, sin fundamentos suficientes, como una excedencia no-producible en la producción. Y esto representa un antecedente respecto de la ulterior *autopoiesis* en el paradigma hipermoderno. Son máquinas que no son manejadas por el cuerpo, sino que se las hace andar en el sentido de que presuponen determinadas reglas según las cuales son conectadas y desconectadas: “La mecanización de la naturaleza conduce a una desvitalización en la medida en que procesos vitales son equiparadas a movimientos mecánicos”.<sup>5</sup> Este esquema puede complementarse con otros aportes.

Cassirer observa que, luego de un estadio mimético-simpático en que el ser humano no distingue su propia actividad de los procesos del mundo –el caso de la gota de agua sobre la piedra–, y un estadio analógico-ampliativo en que la herramienta aparece como extensión del cuerpo, se pasa a un estadio puramente simbólico que se atiene a libres posibilidades en una renuncia al modelo efectivo de la naturaleza dada inmediatamente. Así, la representación de un ala inmóvil, que no se presenta en la naturaleza, hace posible el vuelo del hombre. De este modo, “la marcha de la técnica se somete a una norma general que domina la totalidad del desarrollo de la cultura”.<sup>6</sup>

La emancipación de la técnica respecto de la naturaleza corre paralela con una modificación del movimiento del cuerpo del ser humano en el espacio. El movimiento deja de responder a una invitación de la naturaleza exterior. No se ajusta sobre la tierra a los desniveles del paisaje y a la fuerza de las bestias de carga, ni se adapta sobre el agua al desplazamiento de las corrientes. La máquina de vapor introduce el movimiento recto sobre el agua y además genera velocidades que la fuerza animal no permitía imaginar. Cuando esto sucede, los lugares del espacio pierden individualidad o autonomía para convertirse en momentos del transporte. Ya no condicionan el transporte, sino que dependen de él. Dejan de ser solidarios con otros lugares de modo que pierden su horizonte de coexistencia. Asimismo, se produce una modificación en el ritmo del movimiento del cuerpo. A diferencia de los útiles del artesano que están al servicio del cuerpo o de la mano, las máquinas exigen que el trabajador esté al servicio de ellas. El ritmo natural del cuerpo debe ajustarse al movimiento mecánico de la máquina. La máquina guía la labor del cuerpo, y reemplaza la labor del cuerpo. Si bien las máquinas han sido ideadas como algo que debe operar al servicio del hombre, es decir, disponen de la naturaleza de acuerdo con los planes de los hombres, estos quedan insertados en ellas de modo que, mientras dura el trabajo, el ritmo del cuerpo humano es reemplazado por un proceso mecánico. Marx ha destacado este aspecto de emancipación de los límites orgánicos poniendo de manifiesto la posibilidad de operar simultáneamente con numerosas herramientas. La herramienta pasa de manos del hombre a ser pieza de un mecanismo en que el número de herramientas que pueden funcionar simultáneamente no está limitado por el número de órganos del cuerpo. Hay

---

<sup>4</sup> *Ibid.*, p. 368.

<sup>5</sup> *Idem.*

<sup>6</sup> Cfr. Ernst Cassirer, *Symbol, Technik, Sprache*, Hamburg, Meiner, 1985, p. 74. Cfr. pp. 72-78.

múltiples herramientas mecánicas engranadas en un mecanismo en lugar de *una* herramienta en manos del hombre. Un solo mecanismo opera con una masa de herramientas iguales y es movida por una sola fuerza motriz. Lo esencial de la máquina-herramienta de la cual arranca la Revolución Industrial del siglo XVIII reside en esta simultaneidad de las herramientas y no en que la fuerza motriz deje de provenir del hombre o de la naturaleza de un modo directo como en el molino de agua o de viento.<sup>7</sup>

El paradigma moderno comienza a manifestarse en la época del Renacimiento cuando se afirma la idea de que la ciencia de los antiguos había sido fructífera a causa de su carácter contemplativo. Por eso se tiende a afirmar la unidad de teoría y práctica. Marsilio Ficino (1453-1499) afirma que el arte humano es como una nueva naturaleza que trata la materia desde el exterior en lugar de hacerlo desde el interior como la naturaleza misma. Y puede producir cualquier realidad generada por la naturaleza si encuentra la materia necesaria y dispone de instrumentos pertinentes. Giordano Bruno (1550-1660) avanza decididamente en la dirección de la teoría y la práctica cuando observa que el hombre ha de estar “ocupado en la acción por las manos y en la contemplación por el intelecto, de manera que no contemple sin acción ni obre sin contemplación”.<sup>8</sup> Al emanciparse de la naturaleza, la técnica deja abierto el camino para la realización del programa de Francis Bacon (1561-1626): orientar el conocimiento al poder sobre la naturaleza, y utilizar este poder para beneficio del ser humano con el establecimiento de un reino del hombre. Bacon afirma la necesidad de crear una ciencia pragmáticamente eficiente basada en la exclusión de la distinción entre lo activo y lo contemplativo: “Por tanto, han de esperarse más y mejores cosas, y a intervalos más cortos, de la razón de los hombres y de su industria, [...]”.<sup>9</sup> Cuando el hombre se empeña en conquistar el mundo con el auxilio de una técnica emancipada de la naturaleza, el trabajo –entendido como una lucha directa con la naturaleza– se convierte en un valor positivo.

### 3. Paradigma hipermoderno

En el paradigma hipermoderno, las operaciones fundamentales son la autorregulación y la auto-organización, el ordenamiento fundamental es el desencadenamiento de la técnica que la manifiesta como cuasi-naturaleza, y el prototipo es una máquina automática con su autorregulación y la conjunción sistema-mundo circundante con su autoorganización.

Waldenfels subraya que lo moderno pasa a alimentarse a sí mismo y tiende más allá de sus propios presupuestos. El “desencadenamiento” (*Entfesselung*) de la técnica carece de frenos y contrasta con la dominación de la naturaleza en el paradigma moderno y con la incorporación de la técnica a la naturaleza en el paradigma clásico. Hay una autoorganización, es decir, una autoproducción o *autopoíesis* por máquinas que se autoconducen y autorregulan como máquinas automáticas. Este análisis del nuevo paradigma se centra en la biotécnica, aunque ella solo ocupe un lugar parcial en el ámbito de la tecnología, porque “reviste particular interés porque ella acerca la experiencia vivida formalmente al cuerpo propio”.<sup>10</sup>

---

<sup>7</sup> Cfr. Carlos Marx, *El capital. Crítica de la economía política*, Buenos Aires, Cartago, 1956, pp. 298-316.

<sup>8</sup> Citado en Rodolfo Mondolfo, *En los orígenes de la filosofía de la cultura*, Buenos Aires, Hachette, 1960, p. 143. Cfr. Rodolfo Mondolfo, *Figuras e ideas de la filosofía del Renacimiento*, Buenos Aires, Losada, 1954.

<sup>9</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, I, cviii, Buenos Aires, Losada, 1961, p. 148.

<sup>10</sup> B. Waldenfels, *Bruchlinien der Erfahrung*, p. 372.

La biotécnica muestra que no solo las fuerzas corporales, sino también las funciones corporales quedan entregadas a las máquinas. Es un proceso en que el cuerpo ya no encuentra en el instrumento una prolongación, sino que las funciones de conducción experimentan con la máquina una “dislocación” o “puesta en otro lugar” (*Auslagerung*) fuera del cuerpo. Esto no concierne a órganos corporales específicos, sino al sistema nervioso central. Las máquinas no solo utilizan informaciones ajenas, sino que se organizan a sí mismas en el intercambio con el mundo circundante, y lo hacen no solo sincrónicamente para preservarse, sino diacrónicamente para desarrollarse. Se produce una convergencia entre una tecnificación de la vida y una biologización de la técnica, de modo que la técnica interviene en los procesos vitales y los procesos vitales transcurren de un modo técnico en la ejecución de un programa realizado maquinamente según sus propias reglas. O sea: la técnica experimenta una revitalización que se contrapone a la desvitalización y materialización del paradigma moderno. Contribuye a la desmaterialización el hecho de que no se trata tanto de máquinas que necesitan energía, sino de máquinas que emplean y transforman informaciones. Por otro lado, se ahonda la grieta entre la activación corporal y la ejecución maquinal, entre la técnica corporal y la técnica maquinal, en el sentido de que la ejecución de un programa realizado maquinamente se ajusta estrictamente a reglas en tanto que la activación corporal no tiene este condicionamiento a pesar de la regulación a que puede estar sujeta.

Se desencadena un desarrollo carente de obstáculos. Waldenfels recurre a una vieja fórmula *Nihil contra artem nisi ars ipsa* para caracterizar la penetración de la técnica generalizada y entregada a sí misma en toda la vida privada y pública. Ya no hay un contraste, como en el paradigma moderno, entre surgimiento natural y producción artificial, sino que, en virtud de la auto-organización lo controlante y lo controlado pertenecen al mismo sistema: “El modelo de la auto-organización o de la *autopoiesis* parece reunir nuevamente los *disiecta membra* que en el paradigma de los modernos estaba separado: la *phýsis* en la forma de un automovimiento viviente, el *lógos* como regulación que no solo considera los estados que son, sino también estados que deben ser, [...]”.<sup>11</sup>

Respecto de algunos aspectos del paradigma moderno, Waldenfels subraya críticamente que el mundo humano no está integrado por cosas o bienes predados en forma acabada, y que, por tanto, no está organizado definitivamente en un momento dado, sino que es reorganizado en cada presente en función de posibles sentidos y metas (véase II 3 i). Así, el mundo no consiste en nexos que de antemano están sometidos a reglas de coordinación o correlación, sino que hacen surgir estas reglas en la marcha de la experiencia. Ellas admiten múltiples nexos adicionales en un proceso que contiene siempre más posibilidades que aquellas previstas por un vínculo reglado. No todos los elementos de la experiencia son ya conocidos ni la aparición de algo como algo implica la relación entre datos ya definidos. Se trata más bien de una separación en la que emerge algo que se diferencia como algo. Por tanto, el “como” es un ensamble que da sentido a la experiencia y que no acrecienta la cantidad de datos fácticos sino la manera en que se presentan. Algo obtiene su peculiaridad en tanto se separa de lo otro destacándose de un trasfondo en un proceso que tiene la posibilidad de instituir reglas, pero también de sustraerse a ellas.<sup>12</sup>

## II. Reflexiones filosóficas

---

<sup>11</sup> *Ibid.*, p. 373.

<sup>12</sup> Cfr. *ibid.*, pp. 377-378, 388-389.

## *1. Desafío a la identidad personal*

La comunicación bidireccional entre el cerebro y el mundo lleva a considerar la relación entre el cerebro como parte del cuerpo objetivo que puede ser observado y explicado y el cuerpo vivido o cuerpo propio que no es ya un cuerpo en el mundo sino un cuerpo-sujeto. A partir del cuerpo propio se estructura el mundo circundante de la vida y nuestra orientación a él, y vivimos enfrentándonos con todos los demás objetos que nos salen al encuentro. Se trata de dos enfoques del fenómeno humano. En uno el sujeto se conoce a sí mismo y tiene objetos frente a él; en el otro se convierte en uno de los objetos.

El conocimiento que se adquiere del cerebro, sumado al que proporciona la comunicación bidireccional, no influye en el conocimiento que se tiene del cuerpo propio ya que este saber se adquiere por la práctica de sus poderes. La relación con el cuerpo propio es una relación de pertenencia que contrasta con la relación de distanciamiento con que nos enfrentamos al cerebro en un conocimiento objetivo. El “yo puedo” inherente al cuerpo propio no hace frente a un mundo de cosas totalmente acabado que emite mensajes y recibe respuestas. La acción es más compleja porque el ser humano contribuye a la edificación del entorno desde el primer momento de modo que no está meramente en la situación de recibir información del entorno para luego modificarlo. La experiencia tiene sus horizontes, y estos ofrecen la posibilidad de una explicitación y un descubrimiento interminables.

Ahora bien, aunque el cuerpo objetivo y el cuerpo vivido pueden diferenciarse en el enfoque, hay una unidad profunda entre lo que aparece como sistema neuronal y sus ampliaciones extracorporales y lo que aparece como vivencia mental. Frente a la dotación de disposiciones arraigadas en lo biológico y los componentes anexados que introduce la inteligencia artificial, Paul Ricoeur, en un diálogo con el científico Jean-Pierre Changeaux, observa que “el cerebro es el sustrato del pensamiento (en el sentido más vasto del término), y el pensamiento es la indicación de una estructura neuronal subyacente. El sustrato y la indicación constituirían así las dos caras de una relación de correlación a doble entrada”.<sup>13</sup>

Ahora bien, al margen de la comunicación bidireccional o correlación a doble entrada entre cerebro y conciencia, el desarrollo de la inteligencia artificial permite hablar de una correlación a triple entrada en la que se tiene en cuenta (i) la base representada por el cerebro claramente advertible en las disfunciones psíquicas y la acción terapéutica, (ii) la suma al cerebro de aportes extrasomáticos; y iii) la efectividad propia de la conciencia que queda resguardada en su intimidad e independencia por una discontinuidad con la base y sus complementos.

La noción de disposición –noción neurobiológica que es enriquecida con disposiciones adicionales proporcionadas de manera artificial– tiene un momento paralelo en la noción de capacidad vinculada al “yo puedo”, es decir, a un ser humano capaz que se experimenta directamente como tal. La comunicación bidireccional establece para el ser humano una dotación a la vez biológica y maquina que puede sustraerse a la intimidad, pero queda englobada por el “yo puedo” humano y su capacidad de ordenar su mundo y en particular hacerlo según juicios de valor.

## *2. Establecimiento de límites*

---

<sup>13</sup> Jean-Pierre Changeaux y Paul Ricoeur, *Ce qui nous fait penser. La nature et la règle*, Paris, Odile Jacob, 1998, p. 61. Las citas textuales son todas de Ricoeur. Cfr. *ibid.*, pp. 239-240.

La ética se encuentra arraigada en la vida mediante una preparación biológica y se trata de una relación a la vez de continuidad y discontinuidad porque la evolución biológica no nos ha dado reglas para actuar ante la violencia. Si bien en la evolución biológica hay una disposición a la asociación y la benevolencia, también hay una disposición a la violencia. Esto requiere un nuevo nivel de análisis que trasciende lo biológico. Se debe hacer una selección entre las tendencias a la agresividad y las tendencias a la simpatía y de ese modo luchar contra la violencia en una consideración que va más allá de un mero punto de apoyo para la evolución. Una reflexión análoga puede extenderse al avance representado por la comunicación bidireccional del cerebro con otros factores mundanos. También por esta vía puede producirse una ampliación de la disposición a la moralidad que está presente en los seres vivos a fin de dar lugar a un pasaje a la normatividad moral.

Con el “yo puedo” va de la mano la noción de evaluación que está centrada en cada individuo. Esta diferenciación entre disposición y capacidad se refleja en el uso de la palabra “origen” o “fundamento” que puede significar antecedencia o descendencia, lo cual remite a la evolución biológica de la especie, o bien puede significar una justificación o legitimación por medio de la cual se relaciona el origen con un a priori normativo. La idea de norma está vinculada a la de un sujeto ético capaz de afirmarse a sí mismo en una autonomía. La “referencia obligada”<sup>14</sup> se encuentra en el imperativo categórico kantiano: “Obra solo según una máxima tal que puedas querer al mismo tiempo que ella se convierta en ley universal”.<sup>15</sup> La libertad inherente al “yo puedo” se convierte en la condición de la existencia de la ley moral, y la ley moral en la condición de inteligibilidad de la libertad. Este engendramiento simultáneo y mutuo es el origen del imperativo cuya regla de universalización puede encontrar apoyo en predisposiciones favorables, pero cuya justificación no responde a hechos sino a la determinación de los que es más valioso.<sup>16</sup>

La ética tiene un apoyo en lo otro, sean preparativos biológicos, observación del comportamiento, complementación del comportamiento con cargas informacionales externas, etc., pero exhibe una autonomía que es manifestada en la necesidad de hacer frente a la violencia. Aun una ética arraigada en la vida, en la intención de la vida buena como la de Ricoeur, requiere pasar a la norma moral porque la vida misma no proporciona reglas para enfrentar sus aspectos más negativos. Una vez que se ha alcanzado la afirmación de sí del sujeto, es posible buscar antecedentes. Una lectura retrospectiva puede poner de manifiesto antecedentes de la autonomía, pero de tal modo que “el principio de justificación no puede coincidir con la fuente de motivación” porque hay “una discontinuidad enteramente fundamental”.<sup>17</sup> El proyecto ético reposa sobre una evaluación que realiza una selección entre las disposiciones heredadas entre las cuales se encuentran disposiciones a la agresividad y la simpatía. Ricoeur sostiene una visión discontinuista porque con la evaluación se traspasa un umbral que abre la posibilidad de una distancia respecto de lo dado. El predominio del empuje que proviene del polo maquinal de la correlación cerebro-computadora cede su lugar a un acontecer de otra índole (véase II 3 iii). El enriquecimiento de un lado del umbral tiene que ser compensado con una mayor vigilancia que abra nuevos horizontes: “[...] la noción de umbral y de progresividad creadora prevalece aquí de lejos sobre la de empuje de la vida que viene de atrás”.<sup>18</sup> Es el lugar de una evaluación que introduce la cuestión de la validez o legitimidad. A la continuidad que

---

<sup>14</sup> *Ibid.*, p. 225.

<sup>15</sup> Immanuel Kant, *Grundlegung der Metaphysik der Sitten, Akademie Textausgabe*, Berlin, 1968, Vol. IV, p. 421.

<sup>16</sup> Cfr. J.-P. Changeaux y P. Ricoeur, *Ce qui nous fait penser*, pp. 237-243.

<sup>17</sup> *Ibid.*, pp. 274-275.

<sup>18</sup> *Ibid.*, p. 274.

está implicada en la comunicación bidireccional entre el cerebro y un ámbito extrasomático se superpone una discontinuidad, que, sin abolir la continuidad, establece una articulación adecuada. Mientras que el modelo evolutivo se mantiene en lo homogéneo y sus discontinuidades tienen lugar en lo homogéneo, la reflexión sobre un origen introduce algo heterogéneo con lo cual se sobrepasan los estadios previos. El subsuelo que permite construir por encima de él no da una comprensión de lo que se construye retomando el nivel anterior y posibilitando una superación en el nivel de lo que Platón denominó el diálogo del alma consigo misma (cfr. *Sofista* 263 e; *Teeteto* 189 e).<sup>19</sup>

Hay también un límite en la esfera del pensamiento para la estimulación desde el exterior para la consiguiente distorsión en la información transmitida. En primer lugar, el pensamiento humano no es una operación formal descontextualizada, sino que presupone el trasfondo de la historia y la cultura. Y en este sentido se asemeja a la decisión moral. La historicidad se sustrae, por sus inabarcables horizontes y posibilidades de fusión de horizontes, a ser representada en algún tipo de sistema como extensión del sistema neuronal. En segundo lugar, el pensamiento es reflexivo y, por tanto, permite un pensamiento sobre el pensamiento, o reflexión sobre la reflexión en una duplicación de la conciencia en un proceso que se reitera indefinidamente. Además del problema de si puede ser realizada al margen del pensamiento humano, la reflexividad muestra que la negación de la conciencia implica a la vez una afirmación de la conciencia porque solo se realiza desde la conciencia. Si el pensamiento fuera un proceso neuronal con inclusión de su ampliación, no se podría explicar un pensamiento que sostenga que el pensamiento no es meramente un proceso neuronal al que se anexa un estímulo exterior, es decir, el pensamiento de que él mismo no es lo que es. Del mismo modo, detrás del desarrollo de la tecnología inteligente se encuentra la inteligencia de un sujeto humano y una práctica cultural humana. En tercer lugar, la perspectiva subjetiva tiene un papel de modo que toda afirmación de que se piensa algo se desarrolla en un horizonte vital que lo altera a lo largo del camino de la vida. Por otro lado, la conciencia presenta rasgos distintivos en el caso de nuestra experiencia del tiempo porque no es un flujo unidimensional en una sucesión de eventos. La correlación entre un pensamiento como contenido y los actos en que se lo piensa no es una correspondencia precisa porque múltiples actos numéricamente distintos pueden tener como correlato un mismo objeto que como correlato escapa al curso del tiempo de los actos. Se añade a ello que la temporalidad requiere no solo ser descrita según el nivel de los objetos temporales del mundo y el nivel de los actos que se deslizan hacia el pasado, sino también según el nivel del presente viviente como trasfondo permanente de todo cambio y duración.<sup>20</sup>

Un límite a la tecnificación de la vida concierne a la sustitución de la contingencia inherente a una génesis de los sentimientos por la intervención mediante una técnica de los sentimientos. Esta conversión del *pathos* en *poiesis* amenaza transformarse en un padecimiento bajo la técnica como reverso de la bendición de la técnica, y requiere la protección de los ámbitos en que puede emerger algo inesperado y nuevo que escapa a la experiencia pasada.<sup>21</sup> Sobre el tema del sentimiento se vuelve en el siguiente apartado (véase II 3 ii).

---

<sup>19</sup> Cfr. *ibid.*, pp. 281-282.

<sup>20</sup> Cfr. J. N. Mohanty, *Lectures on Consciousness and Interpretation*, Oxford/New York, Oxford University Press, 2009, pp. 47-52; y *The Self and its Other. Philosophical Essays*, Oxford/New York, Oxford University Press, 2000, pp. 8-18.

<sup>21</sup> Cfr. B. Waldenfels, *Bruchlinien der Erfahrung*, pp. 458-459.

### 3. La exposición a lo desconocido. Conclusiones

Así como la excedencia en el fenómeno humano no debe ser interpretada como una insuficiencia en la ampliación de algo que logrará ser explicado en un desarrollo ulterior, la exposición a lo desconocido no debe ser considerada como una segura anulación de lo propiamente humano. Los sistemas inteligentes, que son ineludibles, ofrecen también riesgos.<sup>22</sup> Contrarrestar este aspecto implica encontrar un contexto justo para hacer frente a utilizaciones inadecuadas. Sin prescindir de los progresos respecto del conocimiento alcanzable acerca de redes neuronales y sistemas de tecnologías inteligentes integradas a ellas, subsiste el problema de la relación entre la efectivización de estas posibilidades y la experiencia vivida. Es una cuestión relativa al dismantelamiento de la experiencia humana.

Merece recordarse que Karl Popper ofrece una visión en que “es insatisfactorio considerar el mundo como un sistema físico cerrado” porque “según tal visión del mundo humano, la creatividad y la libertad humana solo pueden ser ilusiones”.<sup>23</sup> Su visión es la de una conciencia que no es idéntica a los estados físicos, pero que interactúa con ellos. No habría entonces una comunicación bidireccional cerrada entre el cerebro y anexos exteriores con elementos que solo interactúan unos con otros sin dar lugar a la interacción con algo que se encuentra fuera del sistema. La conciencia “anticipa posibles maneras de reaccionar: posibles movimientos de ensayo-y-error y sus posibles resultados”.<sup>24</sup> El ejemplo dado para ilustrar este mundo físico abierto es el del pintor que coloca una mancha de color en el lienzo y luego analiza el efecto y la altera si no resuelve el problema. De esa manera pueden emerger problemas nuevos para la continuación de la tarea pictórica. En un diálogo con Popper en torno del yo y el cerebro, el biólogo John C. Eccles dice: “Creo que mi carácter personal único, que mi propia conciencia experimentada no se explica mediante la cuenta que se da de la emergencia de la generación del propio yo”. Y Popper, en su respuesta, subraya que “la teoría evolucionista nunca nos suministra una explicación plena de nada de lo que se genera en el transcurso de la evolución”.<sup>25</sup> Estas afirmaciones pueden extenderse al problema que se está considerando.

Así, el condicionamiento por el cerebro con la anejiación de factores externos va unido a una inderivabilidad de la conciencia respecto de ellos. Estas cuestiones ponen de relieve la significación que tiene un punto de vista para considerar aspectos parciales del ser humano.<sup>26</sup> Si se considera al ser humano en función de la correlación bidireccional se debe tener en cuenta que esta correlación entre el cerebro y elementos exteriores está inserta en un contexto de otras interrelaciones y que el conjunto puede ser examinado desde diversos puntos de vista sobre la constitución total humana. Se ha visto que el organismo humano se integra en una persona que siempre pertenece a una sociedad y se encuentra en un momento de la historia. Por tanto, el punto de vista de la correlación bidireccional aparece

---

<sup>22</sup> En cuanto a los peligros, se ha afirmado que “el proyecto de dominación total llega a sus más extremas consecuencias lógicas: después de que la manipulación de la naturaleza fue considerada legítima durante largo tiempo se tiende hoy a legitimar la manipulación del hombre” (Evandro Agazzi, *Weisheit im Technischen*, Luzern, Verlag Hans Erni-Stiftung, 1986, p. 19). En cuanto al desprecio, se ha destacado que juicios surgidos meramente del temor a la capacidad destructiva “no son más capaces de comprender el significado de la nueva tecnología” (J. N. Mohanty, *The Self and the Other*, p. 16).

<sup>23</sup> Karl Popper, *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*, Oxford, Clarendon Press, 1973, pp. 254-255.

<sup>24</sup> *Ibid.*, p. 251.

<sup>25</sup> Karl R. Popper y John C. Eccles, *El yo y su cerebro*, Barcelona, Labor, 1980, pp. 628-629.

<sup>26</sup> Cfr. Evandro Agazzi, “Mind, Body, Brain, Consciousness, Emotions”, *The XXIV World Congress of Philosophy*, Beijing, 2018, pp. 202-209.

como una perspectiva entre otras, y es necesario escapar al peligro reduccionista de que se trata de la única perspectiva que puede dar cuenta de todos los otros fenómenos humanos.

Planteada la cuestión en términos de múltiples perspectivas sobre el ser humano, de anticipación, interacción y control por parte de la conciencia, y de explicaciones insuficientes sobre su emergencia, es necesario proteger un ámbito que resista una alteración exterior de la actividad cerebral y permita “reguardar la indeclinable intimidad de las ideas” de modo que no haya un acceso irrestricto a un “núcleo cerrado” (L. del Castillo). En esta tarea se requiere examinar el papel de la conciencia considerando los caminos por los cuales se ejerce “la sobreabundancia de la vida”,<sup>27</sup> esto es, opera la autonomía de la conciencia sustrayéndose a una intervención invasiva. Para salvaguardar esta excedencia, la filosofía aporta el análisis de nociones que determinan los atributos particulares de la reserva de un núcleo ajeno a la intervención exterior. Son nociones relativas a la estructuración de un mundo humano, la raíz del “yo puedo”, y el acontecimiento.

i) *La estructuración de un mundo humano.* Como se ha anticipado en relación con Waldenfels, no hay datos plenamente determinados en un mundo ya estructurado. Por tanto, el mundo no nos impone un espectáculo en forma absoluta, sino que sobre el fondo de sus sollicitaciones se instituye un sentido. Así, los datos del mundo son sometidos a una “deformación coherente” mediante un principio de deformación que responde a un estilo típico de tratar con el mundo. Se concentra un sentido que aún se encuentra disperso, pero que ya ha sido iniciado en la percepción, la acción y el lenguaje. Se retoman los datos del mundo que tienen el carácter de sentidos en estado latente, de perspectivas parciales que se ven desbordadas, y se va más allá de ellas adaptándolas de modo que existan expresamente. Una intención significativa aún muda se incorpora a la cultura infundiendo una nueva vida al sentido de lo ya adquirido al someterlo a una deformación: “La pintura reordena el mundo prosaico y hace, si se quiere, un holocausto de objetos así como la poesía hace arder el lenguaje ordinario”.<sup>28</sup> La subjetividad está incorporada al mundo, y el mundo no produce la subjetividad porque esta se le incorpora sin convertirse en un epifenómeno de acuerdo con una filosofía interrogativa según la cual se da un sentido que “siempre debe ser rectificado, retomado, mantenido contra los azares, [...]”.<sup>29</sup>

ii) *el “yo puedo” y sus raíces.* El contraste entre el “yo puedo” del cuerpo subjetivo o vivido da un paso más alejándose del cuerpo objetivo y sus posibles anexos cuando se considera, según Michel Henry, que la relación intencional con el mundo solo es posible en virtud de una automanifestación de la vida. Por eso la última cuestión en este terreno no es la donación del mundo en la intencionalidad, sino la donación de la intencionalidad como autodonación. El conjunto de poderes que tenemos sobre el mundo ha de encontrarse previamente en nuestro poder a fin de que podamos ponerlos en práctica. Así, podemos asir cosas porque tenemos una autoexperiencia del poder de prehensión de la mano en la actualidad de su ejercicio. El poder no se experimenta a sí mismo como exterior a sí mismo, como separado de sí, como extraño a sí. Se trata de “este poder con el cual coincido, al

---

<sup>27</sup> K. Popper, *Objective Knowledge*, p. 253.

<sup>28</sup> Maurice Merleau-Ponty, *La prose du monde*, Paris, Gallimard, 1969, p. 89.

<sup>29</sup> Maurice Merleau-Ponty, *Les aventures de la dialectique*, Paris, Gallimard, 1977, p. 88. Hay una doble relación que existe entre el la totalidad y el individuo: “Ella actúa sobre nosotros, estamos en ella en un cierto lugar, en un cierto puesto, y le respondemos. Pero también la vivimos, hablamos de ella, escribimos sobre ella, nuestra experiencia desborda en todas partes nuestro punto fijo. Estamos en ella, pero a su vez ella está totalmente en nosotros. Estas dos relaciones se encuentran unidas concretamente en cada vida” (*ibid.*, pp. 67-68).

interior del cual estoy colocado y que es el mío, de este ‘yo puedo’ que soy”.<sup>30</sup> Hay una donación a sí de cada uno de los poderes del “yo puedo” que se sustenta en una autoafección. El poder no se reduce a la suma de sus actualizaciones potenciales, sino que es una posibilidad de principio de desplegar todos los poderes del cuerpo y que domina todas las actualizaciones pasadas, presentes y futuras. El movimiento del cuerpo se da inmediatamente, sin ser aprehendido en el mundo, en la experiencia interna o autoafección que se confunde con el ser mismo del movimiento. No es comprensible que un acto de voluntad puede determinar un movimiento corporal objetivo obrando sobre un cuerpo objetivo. Tengo el sentimiento de un movimiento que realizo yo mismo, esto es, de un poder en ejercicio. El movimiento es inmediatamente conocido y vivido como una determinación de la vida del yo. Como ilustración de esta concepción, Henry menciona a Kandinsky y su proyecto de asignar a la pintura la finalidad de expresar nuestra vida invisible en lugar de figurar el mundo. La vida invisible es el contenido abstracto del arte pictórico, cuyos medios de realización son las formas y los colores que tienen, según el pintor, un carácter doble. Estos elementos pictóricos son a la vez “exteriores” y visibles o “interiores” e invisibles. Son exteriores en tanto colores y formas. Y son interiores en la medida en que su tema explícito es expresar la vida. El cuadro es la expresión de una textura de impresiones y fuerzas interiores de carácter emocional, y, por tanto, el principio de su composición no se refiere al mundo exterior, sino que refleja la realidad emocional y dinámica del color y la forma.<sup>31</sup>

iii) *el acontecimiento*. La noción pone de relieve una excedencia respecto de toda posible causa. Es un fenómeno que nos sobreviene y parte de sí mismo al mostrarse sin que nosotros podamos producirlo o provocarlo. En contraste con la tesis cartesiana de que el ser o la realidad del efecto es siempre igual o menor que el de la causa, Marion defiende la teoría según la cual el acontecimiento en tanto efecto contiene siempre tanta y con frecuencia más realidad que la causa. Una sobreabundancia del acontecimiento impide asignarle una causa o comprenderlo por una combinación de causas. Un cuadro hace visible un efecto invisible porque se separa de lo que lo sustenta y se da como pura superficie sin soporte, o como una pura superficie que absorbe el soporte. El efecto del cuadro hace que sea más que sus componentes reales. Por eso el cuadro aparece como un acontecimiento que tiene el carácter de un surgir o sobrevenir, es decir, de un efecto entendiendo por efecto el choque que provoca lo visible, la emoción que invade al que contempla, y la combinación irreductible de tonos y líneas que individualiza irreductiblemente al espectáculo: “El efecto hace vibrar el alma con vibraciones, que, con toda evidencia, no representan ningún objeto ni ningún ente, y no pueden ellos mismos ser descritos o representados en el modo de los entes y de los objetos”.<sup>32</sup>

De esta liberación con respecto a causas se siguen tres características fundamentales del acontecimiento: la irrepitibilidad, la excedencia y la posibilidad. El acontecimiento es irrepitible porque se produce tan solo una vez y sin retorno ya que carece de antecedentes suficientes para dar lugar a una nueva producción. Exhibe una excedencia porque siempre va más allá de lo que lo antecede. Esto significa que el carácter de acontecimiento se mide por la amplitud del exceso del fenómeno sobre sus antecedentes. Por último, el acontecimiento comienza una nueva serie en la que reorganiza los antiguos fenómenos abriendo un nuevo horizonte. Su posibilidad no efectúa lo que se ha previsto, sino que da

---

<sup>30</sup> Michel Henry, *Philosophie et phénoménologie du corps. Essai sur l'ontologie biranienne*, Paris, Presses Universitaires de France, 1965, p. 27.

<sup>31</sup> Cfr. Michel Henry, *Voir l'invisible. Sur Kandinsky*, Paris, Bourin, 1988.

<sup>32</sup> Jean-Luc Marion, *Étant donné*, Paris, Presses Universitaires de France, 1997, pp. 73-74. Cfr. *ibid.*, pp. 225-226.

siempre más.<sup>33</sup> El acontecimiento propiamente acontecimental se distingue del hecho que ocurre dentro del mundo sin sobrevenir a nadie o a nada en particular. Lo que adviene como hecho no pone en juego a nadie en su propio sí-mismo. El espectador del hecho no es afectado hasta el punto de tener que comprenderse a partir de lo que le adviene. O sea: el hecho intramundano no se dirige a nadie en particular y se produce de un modo indiferente para todo testigo.<sup>34</sup>

En suma: no puede haber un mundo fijo en virtud de sus inabarcables horizontes siempre aptos para ofrecer nuevas posibilidades, un “yo puedo” al que se accede en una autoafección emocional que no se puede reflejar en un conocimiento objetivo, pero sí ilustrar con las fuerzas y los colores de la pintura, y la emergencia de acontecimientos que escapan a una previsión. El mundo, nuestro obrar en él y los sucesos que nos sobrevienen constituyen por la excedencia que exhiben una salvaguardia de la intimidad humana y muestran ámbitos en que ella puede desarrollarse.

---

<sup>33</sup> pp. 225-244.

<sup>34</sup> Claude Romano, *L'événement et le monde*, Paris, Presses Universitaires de France, 1998.

# ARMAS INTELIGENTES ¿LIMITACIÓN Y CONTROL?

*Una consideración de los aspectos éticos y jurídicos*

**Natascia Arcifa**

**Sumario:** 1. *Qué son los sistemas de armas autónomas letales – 1.1. Situación en algunos Países – 2. ¿Por qué las armas inteligentes son problemáticas? – 2.1. Una consideración ética – 2.2. Una perspectiva jurídica – 3. Hipótesis de responsabilidad de los sistemas autónomos.*

El nuevo milenio es el escenario del desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) y el aprendizaje automático, que se están utilizando en muchos campos a través de servicios capaces de controlar cosas y personas, produciendo efectos en toda la sociedad.

En el mundo de la robótica militar en particular, el uso de la IA ha llevado a muchos Países<sup>1</sup> a implementar un nuevo sistema de armas, programando máquinas que pueden identificar y alcanzar objetivos por sí mismas, sin ninguna intervención humana directa. Esto se debe a que se ha consolidado la idea que las máquinas, al eliminar los errores, pueden rendir mejor que los humanos. De hecho, Estados Unidos, Rusia, China y Francia ya han invertido miles de millones en el desarrollo de la autonomía en el uso de la fuerza militar.

Esto ha planteado numerosas cuestiones ético-jurídicas: las leyes internacionales no son plenamente capaces de proteger los derechos humanos, y la mayor crítica se refiere a la moralidad de la acción realizada por el arma autónoma. De hecho, el sistema jurídico actual no es capaz de abarcar todos los diferentes tipos de sistemas de inteligencia artificial existentes y futuros, lo que deja un vacío de responsabilidad en la hipótesis de daños al usuario de estas nuevas herramientas o a terceros.

Muchos expertos se preguntan: ¿Deben limitarse y controlarse las armas autónomas letales?

## **1. Qué son los sistemas de armas autónomas letales**

Los sistemas de armas autónomas letales (LAWS) son aquellas armas que utilizan inteligencia artificial para identificar, seleccionar y golpear objetivos humanos sin control humano, pero usando algoritmos<sup>2</sup>. De la complejidad y potencia de los algoritmos y sus secuencias se deriva una inteligencia artificial más o menos evolucionada.

Los profesores Erik Brynjolfsson y Andrew McAfee (2014), del Massachusetts Institute of Technology (MIT), estimaron que el mundo se encuentra frente a un punto de inflexión sin

---

<sup>1</sup> Adrian Willings, Ed, 61 armas interesantes e increíblemente futuristas y vehículos de combate modernos, Junio 2021: <https://www.pocket-lint.com/es-es/gadgets/noticias/142272-28-increibles-armas-futuristas-que-muestran-el-poderio-militar-moderno>

<sup>2</sup> El Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) ha dado una definición de arma autónoma: "Cualquier sistema de armas con autonomía en sus funciones críticas. Es decir, un sistema de armas que puede seleccionar (detectar, identificar, rastrear) y atacar (usar la fuerza contra, dañar) o destruir objetivos sin intervención humana".

precedentes producido por la automatización, que calificaron como “la segunda era de las máquinas”. El Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) ha dado una definición de arma autónoma que, como resultado de una serie de conferencias, escribe: "Cualquier sistema de armas con autonomía en sus funciones críticas. Es decir, un sistema de armas que puede seleccionar (detectar, identificar, rastrear) y atacar (usar la fuerza contra, dañar) o destruir objetivos sin intervención humana".

A lo largo de los años, la comunidad internacional ha mantenido el debate<sup>3</sup> sobre la cualificación adecuada de las armas autónomas, sin encontrar una definición común. Sin embargo, se han seleccionado los siguientes elementos para definir un arma como autónoma: a) la autonomía con respecto al control humano; b) la selección; c) el ataque a un objetivo que se produce sin ninguna aportación; d) ninguna o innecesaria intervención humana. Estos elementos se prestan a diferentes interpretaciones y a las consiguientes definiciones.

Según el Foro Económico Mundial, la mayoría de los Estados están promoviendo la investigación para desarrollar y probar armas autónomas letales (como por ejemplo Inglaterra, China y Estados Unidos, Israel, Rusia y Corea del Sur<sup>4</sup>); los Estados, a partir de 2013, debatieron públicamente el debate sobre derechos humanos celebrado en la Convención sobre Ciertas Armas Convencionales (CCW). Además, siempre teniendo en cuenta el objetivo de evitar que los civiles encuentren en situaciones peligrosas y evitar posibles efectos desestabilizadores, las Naciones Unidas con motivo de la CCW 2016 ha identificado un grupo de expertos gubernamentales para lograr mejores resultados en la gestión de sistemas de armas autónomas letales<sup>5</sup>.

Aunque no se ha acordado una definición común de las LAWS, su desarrollo técnico avanza a buen ritmo. De hecho, ya se han desplegado varios tipos de armas sobre el terreno<sup>6</sup>, la mayoría de ellas representadas por robots o sistemas que realizan tareas complejas como la navegación por carretera de vehículos autónomos o la realización de una operación quirúrgica, así como tareas que consideramos mucho más sencillas.

---

<sup>3</sup> P. Scharre y M.C. Horowitz, An introduction to Autonomy in Weapon Systems, Documento de trabajo, Centro para una nueva seguridad americana, 2015

<sup>4</sup> Para más información, visite [www.weforum.org/reports/](http://www.weforum.org/reports/)

<sup>5</sup> La documentación relativa a las reuniones informales y a los trabajos del Grupo de expertos gubernamentales puede ser consultado [www.unog.ch](http://www.unog.ch); Las reuniones en del 2021: CCW Group of Governmental Experts on lethal autonomous weapon systems <https://meetings.unoda.org/meeting/ccw-gge-2021/>; 28 Junio - 5 Julio 2021 (un intercambio informal convocado en línea); 3 Agosto - 13 Agosto 2021 (reunión en persona en Ginebra) <https://indico.un.org/event/35882/>; 27 Septiembre - 1 Octubre 2021.

<sup>6</sup> Algunos ejemplos: Misiles de uso aéreo, antibuque, de crucero o que actúan tanto por aire como por tierra. Estos se agrupan en dos categorías. El primero es el llamado "go-onto-target" y agrupa aquellos misiles diseñados para alcanzar un objetivo siguiendo sus huellas, mediante el uso de sensores y señales electromagnéticas. El segundo, El llamado "go-onto-location-in-space", se refiere a las armas diseñadas para alcanzar el objetivo situado en la ubicación geográfica, como las bombas de GPS. Algunas armas automatizadas son más sofisticadas y se activan con precisión en el tiempo establecido, aunque en la elección depende siempre del operador. Pero considere, por ejemplo, el hipotético enfrentamiento de un misil aire-aire y más allá del alcance visual. El piloto tendrá que confirmar el compromiso del misil, hacia el objetivo potencial identificado por un ordenador, basándose en la información que se le transmite sin poder confirmar visualmente la identidad del objetivo, pero sólo a partir de la información que le proporciona un ordenador para su respeto no está garantizado.

## 1.1. Situación en algunos Países

El mercado de los drones de alta tecnología está liderado por Estados Unidos, Israel y China, y un pequeño número de otros países se están especializando en la producción de drones más baratos, como Sudáfrica, Emiratos Árabes Unidos, Pakistán y Bielorrusia.

Más de 80 estados poseen drones militares, de los cuales al menos 14 están armados. Los sistemas no tripulados se han convertido en algo habitual en las operaciones militares, proporcionando información útil mediante operaciones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento para las fuerzas terrestres, así como apoyo aéreo cercano a las tropas mediante la identificación de objetivos de precisión<sup>7</sup>.

En Rusia, el Comandante en Jefe de la Fuerza Aérea, declaró que ya en febrero de 2017, Rusia ha estado trabajando en misiles "guiados por IA" que pueden decidir cambiar de objetivo en vuelo. Así, se afirma que ya existen sistemas de IA operativos totalmente autónomos que cumplen misiones de forma autónoma, interactuando entre sí. Rusia ha probado varios sistemas de combate autónomos y semiautónomos, como el Kalashnikov con un módulo de combate de "red neural", del que sus creadores afirman que puede hacer sus propios juicios sobre el objetivo sin intervención humana.

Estados Unidos ya cuenta con numerosos programas militares de combate con IA, como el Sea Hunter, un buque de guerra autónomo diseñado para operar en el mar sin tripulación, guiándose a sí mismo. A esto se añade un sistema que, mediante el aprendizaje automático, puede distinguir entre personas y objetos, teniendo la capacidad de vigilar los objetivos sin intervención humana. Desde 2017, se ha publicado una directiva que reconoce la importancia de la presencia de un operador humano cuando el objetivo puede ser la vida humana, publicando también un informe sobre los principios para el uso ético de la inteligencia artificial.

En Israel, se diseñó un dron que se lanza y sobrevuela de forma autónoma una superficie designada para encontrar y destruir el objetivo que se ajuste a los criterios predeterminados introducidos.

En Corea del Sur se ha diseñado una ametralladora que puede identificar, seguir y destruir un objetivo en movimiento a una distancia de 4 km. Sin embargo, se han instalado herramientas que requieren una introducción manual.

En Europa, según el Banco Mundial, existe el potencial de convertirse en el líder mundial en el desarrollo de sistemas de armas autónomas letales, con muchos trabajos ya publicados sobre el uso de la Inteligencia Artificial. Francia, Alemania, Eslovenia e Italia invierten en la investigación de sistemas robóticos. Alemania ha firmado un contrato para un sistema israelí de aviones no tripulados HeronTP; Bélgica y los Países Bajos están en proceso de adquirir sistemas MQ-9 Reaper; Italia ha obtenido el permiso de Estados Unidos para armar su flota de aviones no tripulados MQ-9 Reaper; y Noruega ha comenzado a formular una regularización de los sistemas autónomos.

---

<sup>7</sup> O. Casagrande, Robot killer, las armas se vuelven autónomas. Entrevista con Win Zwijnenburg, Diritti Globali, 2020, <https://www.dirittiglobali.it/2020/05/robot-killer-le-armi-diventano-autonome-intervista-a-wim-zwijnenburg/>

## 2. ¿Por qué las armas inteligentes son problemáticas?

Muchos expertos consideran los sistemas de armas autónomas letales intrínsecamente inmorales y un riesgo para la seguridad nacional y mundial. De hecho, el Secretario General de las Naciones Unidas ha declarado que "las máquinas con el poder y la discreción de quitar vidas sin la participación humana son políticamente inaceptables, moralmente repugnantes y deberían estar prohibidas por el derecho internacional"<sup>8</sup>.

La aparición de la IA está cambiando la percepción que el hombre tiene de sí mismo y del mundo con una magnitud que no tiene desperdicio. Sin embargo, es importante recordar que la IA no debe confundirse con el sistema analógico humano, ya que la IA es restringida y sólo puede operar en entornos muy específicos, mientras que el humano es un sistema de facultades generales.

Las aplicaciones de IA pueden representar una oportunidad para dar forma al futuro de nuestro planeta con la necesidad de definir un marco ético-jurídico, en una perspectiva en la que la ética guía el desarrollo "moral" del mundo digital. Sin embargo, cabe preguntarse qué y cuántos son deseables y qué precio debe pagarse (en términos de recursos, inversión, privacidad, libertad, etc.)<sup>9</sup>.

A medida que los LAWS evolucionen, la idea de guerra de nuestra sociedad se cambiará, con el riesgo de que se considere moralmente aceptable. Por lo tanto, es menos probable que los Estados eviten el conflicto armado en la conducción de las hostilidades. De ahí la necesidad de empezar a promulgar normas éticas y la importancia de preservar el libre albedrío humano en las decisiones de uso de la fuerza. Las consideraciones éticas y legales pueden requerir restricciones en la autonomía de los sistemas de armas, para mantener un control humano significativo<sup>10</sup>.

Muchos creen que las decisiones de matar, herir y destruir no deben delegarse en el aprendizaje de las máquinas y que los humanos deben estar lo suficientemente presentes en este proceso de toma de decisiones para vincular la acción y la intención humanas a las posibles consecuencias de un ataque. Esto es posible gracias a supervisión humana y la capacidad de intervenir y desactivar el sistema, así como la necesidad de establecer requisitos técnicos de previsibilidad y fiabilidad, en función de los algoritmos utilizados. También es necesario determinar las limitaciones operativas del uso del arma, el tipo de entorno operativo, el tiempo de funcionamiento y el rango de movimiento.

### 2.1. Una consideración ética

Las nuevas funciones que las armas inteligentes pondrán a prueba la actual visión antropocéntrica, que inevitablemente se verá obligada a evolucionar hacia una sinergia más eficaz a medio y largo plazo. La cuestión del estatus moral de las máquinas se vuelve más compleja cuando se abandona el dualismo entre humanos y máquinas. El liberalismo y los

---

<sup>8</sup> Ver También: Convention on Prohibitions or Restrictions on the Use of Certain Conventional Weapons Which May Be Deemed to Be Excessively Injurious or to Have Indiscriminate Effects, Report 2019 GGE on LAWS, CCW/GGE.1/2019/3

<sup>9</sup> Human autonomy teaming. La combinación hombre-máquina en los futuros procesos de decisión, organización y formación. - report © Centro Innovazione Difesa. Roma, Diciembre 2019.

<sup>10</sup> Naciones Unidas, Informe del Grupo de Expertos Gubernamentales sobre "Sistemas de armas autónomas letales" (LAWS), CCW/GGE.1/2017/CRP.1, 20 de noviembre de 2017, p.7: "La importancia de considerar los LAWS (sistemas de armas autónomas letales) en relación con la participación humana y se subrayó la interfaz hombre-máquina.

derechos humanos se basan en la existencia de seres humanos individuales con pretensiones morales<sup>11</sup>.

La evolución tecnológica conlleva inevitablemente el desarrollo de un nuevo paradigma de valores. La cultura occidental se caracteriza especialmente por mantener siempre la decisión humana en el centro del proceso de toma de decisiones. De hecho, los estudiosos creen que será necesario educar a las máquinas según un sistema preciso de valores, principios, normas, derechos y deberes inspirados en la sociedad en cuestión.

La cuestión ética fundamental es si los principios de humanidad y los dictados de la conciencia pública puede permitir que la toma de decisiones humanas sobre la vida y el uso de la fuerza sea, de hecho, mediante procesos controlados por ordenador según los parámetros de programación. El operador, por tanto, sabe sólo el objetivo potencial del arma.<sup>12</sup> Los argumentos éticos a favor y en contra de los sistemas de armas autónomos reflejarían dos teorías de la ética normativa: la consecuencialista (centrada en los resultados) y la deontológica (centrada en los procesos).

La ética consecuencialista evalúa la moralidad de una determinada elección en función de la bondad de sus consecuencias, como los argumentos que promueven la autonomía de las máquinas para lograr un mayor rendimiento y salvaguardar el bienestar de los usuarios. La ética deontológica, en cambio, se centra en los deberes morales como guía para la acción y parámetro para juzgar el valor moral de las elecciones individuales y colectivas, considerando que ciertas actividades deben ser realizadas necesariamente por seres humanos.<sup>13</sup>

Cuando se considera aceptable la sustitución de los seres humanos por máquinas, surge la necesidad de regular el comportamiento de los sistemas robóticos ante complejos problemas éticos y jurídicos y de establecer la responsabilidad en caso de daños causados por la máquina.

El principal argumento a favor de las armas autónomas se basa en un mayor respeto tanto del derecho internacional como de los valores éticos humanos, ya que podrían ser más precisas y fiables que los sistemas de armas fabricados por el hombre, al tiempo que tendrían menos consecuencias humanitarias negativas para los civiles<sup>14</sup>.

En cambio, los estudiosos del tema<sup>15</sup>, para promover la prohibición de las armas autónomas,

---

<sup>11</sup> Sharkey, War crime and killer robots, The Guardian, 2009; Armies want to give the power of life and death to machines without reason or conscience, The Guardian, 2007; [www.theguardian.com](http://www.theguardian.com)

<sup>12</sup> Los documentos sobre las reuniones informales y el trabajo del Grupo de Expertos Gubernamentales son disponibles en <https://www.unog.ch>; Naciones Unidas, Informe del Grupo de Expertos Gubernamentales sobre "Sistemas de armas autónomas letales" (LAWS), CCW/GGE.1/2017/CRP.1, 20 de noviembre de 2017, p.7: "La importancia de considerar los LAWS (sistemas de armas autónomas letales) en relación con la participación humana y se subrayó la interfaz hombre-máquina.

<sup>13</sup> Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos, PIDCP, Art. 6: "Todo ser humano tiene el derecho inherente a la vida. Este derecho está protegido por la ley. Nadie podrá ser privado arbitrariamente de su vida".

<sup>14</sup> Por ejemplo, los drones armados por control remoto con municiones guiadas de precisión pueden ofrecer el potencial para una mayor precisión y, por tanto, un menor riesgo de efectos indiscriminados. Sin embargo, si la información sobre el objetivo es inexacta, las prácticas de selección son demasiado generalizadas, o las personas u objetos protegidos son atacados deliberada o accidentalmente, entonces el potencial de precisión no ofrece protección.

<sup>15</sup> Por ejemplo, el ex presidente del Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) ha expresado numerosas preocupaciones en relación con el posible despliegue de armas autónomas mediante una advertencia: "Un sistema verdaderamente autónomo tendría una inteligencia artificial que tendría que ser capaz de aplicar el DIH (derecho internacional humanitario). También plantearían una serie de cuestiones legales, éticas y sociales

han sostenido, entre otros argumentos deontológicos, que las armas autónomas no podrían asegurar y no podría garantizar el respeto de los principios cardinales del derecho internacional humanitario, como el principio de distinción, el principio de proporcionalidad y el principio de precaución.

## 2.2. Unas perspectivas jurídicas

La comunidad internacional tiene una oportunidad histórica para reflexionar sobre las ventajas y los aspectos negativos de los nuevos tipos de armas, identificando pautas para su uso. Basado en las directrices para la aceptabilidad ético-jurídica de las armas autónomas, se está construyendo el marco normativo gracias al debate que se está llevando a cabo en Ginebra en el marco de la Convención sobre Armas Convencionales<sup>16</sup>.

Durante la Conferencia de Expertos Gubernamentales celebrada en la CCW 2019<sup>17</sup>, los expertos exploraron los posibles retos tecnológicos emergentes en el ámbito de las LAWS en materia de derecho internacional humanitario, con el fin de promover un entendimiento común de la de los conceptos, permitiendo así un equilibrio entre las necesidades humanitarias y militares y someter el desarrollo de las armas al derecho internacional humanitario, evitando así los indiscriminados efectos traumáticos excesivos o indiscriminados sobre la población civil.

En particular, hay dos elementos clave para la regulación global de armas autónomas letales, la obligación positiva del control humano y las prohibiciones de los sistemas incapaces de control humano. Estas propuestas reflejan puntos de vista ampliamente compartidos: un reconocimiento de la necesidad de garantizar el control y el juicio humanos en el uso de la fuerza; un reconocimiento de que garantizar ese control y ese juicio requiere límites efectivos en el diseño y el uso de los sistemas de armas autónomos; y una creciente confianza en que esos límites pueden articularse a nivel internacional.

A nivel europeo, existe un gran interés por comprender cómo tratar los distintos aspectos de la IA. En concreto, el Programa Europeo de Desarrollo Industrial de la Defensa perfila los ámbitos de aplicación de la inteligencia artificial definiendo la IA centrada en el ser humano y proporcionando una experiencia eficaz entre el ser humano y el robot. El Parlamento Europeo ha elaborado recientemente una especie de hoja de ruta<sup>18</sup> sobre los objetivos que deben seguir los usuarios de armas robóticas en entornos militares y ha creado un grupo de expertos de alto nivel para definir las directrices de la regulación de los sistemas de inteligencia artificial. También ha publicado una recomendación para la Comisión Europea sobre cómo la inteligencia artificial debe ser regulada, reconociendo que la IA, la robótica y la tecnología conexas presentan no sólo riesgos sino también

---

fundamentales, que deben ser consideradas antes de desarrollar o desplegar estos sistemas”, *The Future of Killing: Ethical and Legal Implications of Fully Autonomous Weapon System*, M. Lark, *Salus Journal*, 2017

<sup>16</sup> Informe de la sesión del Grupo de Expertos Gubernamentales en Tecnologías Emergentes en el Área de Sistemas de armas autónomas letales, 2018 (UN Doc. CCW/GGE.1/2018/3).

<sup>17</sup> *Convention on Prohibitions or Restrictions on the Use of Certain Conventional Weapons Which May Be Deemed to Be Excessively Injurious or to Have Indiscriminate Effects*, Report 2019 GGE on LAWS, CCW/GGE.1/2019/3

<sup>18</sup> En Mayo 2020 - hoja de ruta (2007-2032): 1) los objetivos que se han marcado los fabricantes y usuarios de armas robóticas en entornos militares son coalición no tripulada; 2) Lograr una mayor interoperabilidad entre los controles de los sistemas, las comunicaciones, los productos de datos y los enlaces de los sistemas no tripulados; 3) Aumentar la seguridad con mejoras en el control al que operan fácilmente en todos los tipos de robots; prevenir interceptación, interferencia y secuestro; 4) promover el desarrollo de políticas, normas y procedimientos que permitan un funcionamiento oportuno y una integración eficaz de los sistemas; 5) apoyar la integración de las capacidades de combate validadas en los sistemas desplegados/distribuidos mediante un proceso de creación de prototipos, pruebas y apoyo logístico...

oportunidades que contribuyen al progreso y benefician la cohesión social, pero que es importante definir sus límites para garantizar que nunca puedan causar daños a las personas.

Además, el CICR<sup>19</sup> ha recomendado de adoptar nuevas normas jurídicamente vinculantes para regular los sistemas de armas autónomos a fin de garantizar que se mantenga el suficiente control y juicio humanos en el uso de la fuerza.

Entre las diversas soluciones propuestas, así como un nuevo Tratado, es posible:

- promulgar un Protocolo Adicional centrado en la regulación de las LAWS. El proceso de negociación se llevará a cabo de acuerdo con los requisitos de la Convención, proponiendo, con el acuerdo de al menos 18 Estados Parte, la convocatoria de una conferencia para negociar y acordar la adición de un nuevo Protocolo, que deberá ser ratificado por los Estados;

- abrir negociaciones fuera de la CCW, convocando una conferencia ad hoc, como se hizo, por ejemplo, para la Convención sobre Bombas de Racimo;

- promulgar una Ley de Robots que incluya los aspectos más significativos de la sociedad, empezando por la regulación de cualquier producto o tecnología que pueda desarrollarse con IA, así como los estándares que debe cumplir la empresa que produce o explota estos sistemas.

La comunidad internacional debe considerar los problemas asociados al sistema actual, que no es capaz de incluir todos los diferentes tipos de sistemas de inteligencia artificial existentes y futuros.

### **3. Hipótesis de responsabilidad de los sistemas autónomos.**

En el ámbito de la responsabilidad, la comunidad jurídica se pregunta si la responsabilidad del sistema autónomo es imputable al propietario como persona jurídica, o al propio inquilino, o el arrendatario, o el propio Estado<sup>20</sup>.

Los sistemas inteligentes no podrían considerarse a sí mismos ni personas físicas ni jurídicas, por lo que no tienen la capacidad de actuar según el derecho tal y como lo conocemos, pero podrían causar eventos que produzcan efectos jurídicos. De hecho, resulta que su reglamentación es necesaria para evitar que las acciones de los LAWS den lugar a una violación del Derecho Internacional Humanitario.

Los estudiosos han sugerido varios escenarios:

---

<sup>19</sup> El CICR entiende que estas prohibiciones y restricciones propuestas están en consonancia con la práctica militar actual en el uso de sistemas de armas autónomos. Declaración del Comité Internacional de la Cruz Roja emitida en la Convención sobre ciertas armas convencionales (CAC) ante el Grupo de expertos gubernamentales sobre sistemas de armas autónomas letales - 3 a 13 de agosto de 2021, Ginebra [www.icrc.org/en/document/autonomous-weapons-icrc-recommends-new-rules](http://www.icrc.org/en/document/autonomous-weapons-icrc-recommends-new-rules)

<sup>20</sup> El GGE sobre LAWS concluyó en 2018 que "[l]a responsabilidad por el desarrollo, despliegue y uso de cualquier sistema de armas emergente en el marco de la CCW debe ser censurado de acuerdo con el derecho internacional" y que "[l]a responsabilidad humana por las decisiones sobre el uso de sistemas de armas debe mantenerse, ya que la responsabilidad no puede transferirse a las máquinas."; Informe del Grupo de Expertos Gubernamentales en Tecnologías Emergentes en el Área de Sistemas de Armas Autónomas Letales, CCW/GGE. 1/2018/3.

- En virtud de las normas militares generales, la responsabilidad se define a través de la cadena de mando militar, donde las medidas de responsabilidad están claramente definidas en las órdenes, directivas y procedimientos operativos estándar impuestos. Los soldados pueden ser objeto de procedimientos administrativos o de sanciones penales por no cumplir con sus obligaciones. Las investigaciones sobre presuntas infracciones también pueden centrarse de forma general en la conducta de los organismos públicos o de las organizaciones para determinar las recomendaciones de reforma institucional y para prevenir futuras conductas;

- Crear una caja negra para garantizar un registro electrónico de las acciones de LAWS. Esta herramienta podría facilitar la rendición de cuentas al sistema que comete un error, como cuando un vehículo submarino autónomo choca por error con un barco pesquero en lugar de con un buque enemigo;

- Basado en los principios de la responsabilidad del productor, involucrando también a los usuarios o los programadores que crearon los algoritmos de decisión. Se introdujo el concepto de "maestro razonable": se refiere al operador humano que tendrá que sopesar el potencial de daños por colisión frente al potencial de daños colaterales y tendrá que equilibrar en sus decisiones los posibles daños colaterales frente a los beneficios militares;

- En cualquier caso, según el derecho internacional que rige la responsabilidad del Estado, éste es responsable internacionalmente de los actos ilícitos en caso de violaciones del derecho humanitario cometidas por sus fuerzas armadas o, en este caso, por el uso de un sistema de armas autónomo. Para sancionar las posibles violaciones del DIH, existe la llamada "jurisdicción universal", según la cual todo Estado tiene la obligación de buscar y castigar a los culpables. Además, para asegurar una garantía judicial, en los casos en que el Estado no quiera o no pueda actuar contra los autores, el Tratado de Roma de 1998 creó la Corte Penal Internacional (CPI);

- La posibilidad de dotar a los robots una personalidad jurídica, ya que podrían ser capaces de pensar y actuar de forma autónoma. En concreto, se trataría de reconocer una personalidad virtual (*e-personality*), comparable a la personalidad jurídica de las entidades de derecho privado, para regular su responsabilidad civil. O reconocer a las "personas electrónicas" como sujetos autónomos susceptibles de ser atribuibles a situaciones jurídicas activas y pasivas recurriendo al criterio de imputación de responsabilidad por culpa en la supervisión de la persona usuaria del sistema, cuando ésta pueda tomar decisiones erróneas.

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL. RECALCULANDO HACIA SU ADOPCIÓN RESPONSABLE

Laura Cecilia Diaz Dávila<sup>1</sup>

## Resumen

La Inteligencia Artificial (IA) emerge en el siglo XXI como una de las tecnologías estratégicas más usadas hacia la mejora de la calidad de vida de las personas.

Para aprovechar las oportunidades que brinda, enfrentar los riesgos inherentes a su aplicación, proteger el medio ambiente y los diversos ecosistemas en los que participa es necesario que los actores involucrados adopten una actitud responsable a lo largo de todo su ciclo de vida.

Este trabajo reúne, sin pretender ser exhaustivo, las acciones y publicaciones más recientes en esa dirección. A la vez que incorpora una aproximación de los lineamientos requeridos en Argentina para alcanzar su posicionamiento en el mercado internacional sin descuidar la soberanía tecnológica.

## Abstract

Artificial Intelligence (AI) emerged in the 21st century as one of the most used technological strategies headed towards the improvement of our quality of life.

To get the advantage of the opportunities AI offers, face the risks inherent to its application and protect the environment as well as the various ecosystems in which it participates, all of the actors involved must adopt a responsible attitude during the totality of an AI's lifecycle.

Without trying to be exhaustive, this work brings together the most recent actions and publications following this direction, while incorporating an approximation of the guidelines required in Argentina to reach its position in the international market without neglecting technological sovereignty.

## Palabras Clave

**Inteligencia Artificial, Ética, Regulaciones, Bien común**

## Introducción

La disponibilidad de datos provenientes de diversos orígenes y la evolución continua de las capacidades en informática y comunicación, dan lugar a un expansivo avance de los modelos de IA basados en datos. Sus algoritmos, cada vez más sofisticados, dan respuesta a situaciones cuya solución aún resulta inconcebible por otras vías.

---

<sup>1</sup> Doctora en Administración y Política Pública e Ingeniera Civil, Universidad Nacional de Córdoba, laura.diaz@unc.edu.ar.

Pero, la IA aplicada también conlleva riesgos y desafíos, como los de atentar contra los derechos fundamentales y la seguridad, la posibilidad de exponer a las personas a errores importantes o la dificultad de establecer la relación causal de un resultado específico para develar si su uso ha generado injustamente perjuicios sobre los derechos de las personas.

Otro desafío que estos sistemas deben enfrentar es el relativo al adecuado diseño para preservar la intimidad de las personas y su no discriminación como, por ejemplo, los sistemas de reconocimiento facial basados en IA.

Además, la IA aplicada a la robótica y los sistemas inteligentes en general, deben desarrollarse acordes al marco de las normas de seguridad y protección de los derechos fundamentales de otras tecnologías.

En este contexto resulta ineludible contar con un sistema regulatorio que posibilite su aplicación atendiendo los desafíos propios del escenario emergente. En tal sentido, la iniciativa de la Comisión Europea, con su propuesta de marco normativo sobre la IA en 2021, representa una coyuntura clave.<sup>2</sup>

Sin embargo, la regulación de la IA en el mundo entero está en sus albores. Aspectos tales como el desarrollo de normas internacionales relacionadas con la IA o el diseño de estrategias de cooperación para una dinámica multilateral que se enmarque en esa normalización, requieren su tratamiento.

El Grupo de los siete (G7),<sup>3</sup> el Grupo de los veinte (G20),<sup>4</sup> las Naciones Unidas y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) han avanzado en el análisis del papel de estas tecnologías en diversos ámbitos, incluso en el militar.

Acciones como la declaración de Principios de la OCDE sobre IA, adoptados en mayo de 2019 por los países miembros, son evidencias objetivas en esa dirección.<sup>5</sup>

Por su parte, en junio de 2019, el G-20 adoptó principios sobre la IA centrados en el ser humano, que a su vez se inspiran en los principios de la OCDE.

El reglamento de la UNESCO, publicado en noviembre de 2021, sobre la ética de la IA constituye la referencia más relevante. Su trazabilidad con otros documentos de organismos internacionales, su enfoque holístico, integral y convocante que se materializa en recomendaciones concretas a los Estados Miembros, son características que lo ubican como el documento de inexorable referencia en la Nueva normalidad frente su crecimiento expansivo desde 2019.

Por otra parte, la Cumbre Mundial AI for Good de la UIT viene desarrollando acciones de difusión y sensibilización que se derraman en el mundo entero.<sup>6</sup>

Las Organizaciones internacionales de normalización como ISO e IEEE también orientan acciones hacia la regulación de la IA.<sup>7</sup>

El IEEE ha forjado una Alianza Global para el diseño ético de sistemas autónomos e inteligentes, para desarrollar, entre otros fines, estándares de uso ético de la IA en diversos campos de actividad.<sup>8</sup>

Los sistemas de IA plantean nuevos tipos de cuestiones éticas. Es urgente abordar los beneficios, riesgos, desafíos, daños, y esencialmente, cómo diseñar ecosistemas que permitan que su desarrollo sea compatible con los derechos humanos y que se manifiestan

---

<sup>2</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52021DC0205>

<sup>3</sup> conformado por Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón, el Reino Unido y Estados Unidos

<sup>4</sup> compuesto por Alemania, Arabia Saudita, Argentina, Australia, Brasil, Canadá, China, Corea del Sur, EE UU, Francia, India, Indonesia, Italia, Japón, México, Reino Unido, Rusia, Sudáfrica, Turquía y la Unión Europea

<sup>5</sup> Recomendación del Consejo de la OCDE sobre Inteligencia Artificial (OECD/LEGAL/0449)

<sup>6</sup> Plataforma de las Naciones Unidas orientada a la acción, global e inclusiva sobre la IA

<sup>7</sup> ISO/IEC JTC 1/SC 42

<sup>8</sup> Iniciativa Mundial del IEEE sobre la Ética de los Sistemas Inteligentes y Autónomos

en un momento histórico muy diferente al de la Carta de los Derechos humanos de 1948 de la ONU.

Los gobiernos del mundo van tomando conciencia de la necesidad de incorporar a sus ejes temáticos de estudio tanto a la ética como a las regulaciones emergentes.

Argentina no es ajena a esta realidad. Su agenda pública debe incorporar y fomentar la investigación sobre la ética y la gobernanza de la IA en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

También, debe garantizar que la innovación científica y tecnológica de la IA sea beneficiosa para la sociedad, el medio ambiente y los ecosistemas.

Debe desarrollar proyectos de investigación exploratoria sobre los aspectos éticos y regulatorios en el mundo y las oportunidades de apropiación en nuestro país para posibilitar su desarrollo con soberanía tecnológica.

En este sentido, cobran relevancia tanto los avances realizados en otros países como las contribuciones de los organismos internacionales.

En suma, las tecnologías emergentes han demostrado su gran capacidad para contribuir al bien común.

En esta pandemia histórica que azota a la humanidad toda, la IA manifiesta su protagonismo irrenunciable en la mejora en la calidad de vida de las personas, materializado en: descubrimiento de patrones predictivos de propagación geográfica, diagnósticos basados en IA y desarrollos de vacunas y fármacos, con su característica adaptabilidad que la distingue de otras tecnologías

Éstas y otras evidencias dan cuenta de la necesidad mundial de establecer y adoptar medidas legislativas para garantizar sistemas de IA que se adapten a los nuevos escenarios emergentes, con sus desarrollos confiables y su adopción responsable.

Este trabajo tiene por finalidad proporcionar una primera aproximación del estado del arte de la temática en el mundo y, en particular, algunas sugerencias para nuestro país.

Incorpora las acciones de organismos internacionales y regionales, como las recomendaciones de la UNESCO y las del Consejo Económico Social de la UE (CESE), ambas de reciente publicación, entendiendo que de esta manera se consolida una visión general de los avances del tratamiento de la ética y las regulaciones.

Además, incursiona en algunas estrategias nacionales relevantes en el mundo, como resultado de una investigación exploratoria que indaga experiencias de referentes internacionales con diversidad cultural y geográfica.

Este estudio es una contribución al estado del arte en la materia, aproximación útil para nuestro país y nuestra región, para los gobiernos y las partes interesadas, involucrados en todo el ciclo de vida de los sistemas basados en IA.

En esa dirección, el gran reto para Argentina y la región consiste en asumir una actitud responsable y alcanzar la efectiva apropiación social de estas tecnologías en armonía con el medio ambiente y los ecosistemas.

Sin embargo, el mayor desafío consiste en promover la soberanía tecnológica y social, protegiendo el identitario, mitigando las brechas de género, de comunicación y de oportunidades en general, para trabajar por un IA hacia el bien común.

A modo de cierre, se presenta un breve debate sobre aspectos que da luz a la agenda pública para el tratamiento del ecosistema nacional de la IA.

El orden de presentación de los apartados prioriza la cronología, entendiendo que de este modo resulta más amigable apreciar la evolución del tratamiento de la ética para la IA.

### **La Inteligencia Artificial hacia el bien común**

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), agencia especializada de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), lleva a cabo la serie "AI for Good" desde 2017, consciente de la necesidad de sensibilizar en la adopción responsable de estas tecnologías.

Desde 2018, la Cumbre Mundial AI for Good reúne anualmente para el diálogo internacional a innovadores y representantes del sector público y privado, con la participación de agencias de la ONU. Su propósito consiste en diseñar estrategias y apoyar proyectos de IA alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

La UIT, a través de su plataforma, convoca a los sectores gobierno, producción y científico tecnológico, para trabajar en conjunto en aspectos de normalización técnica y orientación política para la adopción responsable de la IA.

La UIT constituye un actor clave en el universo de las Naciones Unidas, para armonizar las dimensiones sociales y tecnológicas en los escenarios emergentes de las nuevas tecnologías disruptivas. La UIT asume este compromiso.

### **La estrategia de la Unión Europea**

La IA ha figurado en los programas marco de investigación y desarrollo de la UE desde 2004, prestándose especial atención a la robótica.

Durante el periodo 2014-2017 se han invertido aproximadamente mil cien millones de euros en investigación, desarrollo e innovación en IA, específicamente destinados a: macrodatos, sanidad, rehabilitación, transporte e investigación espacial, en el marco del programa de investigación e innovación Horizonte 2020.

En Europa se convocan las distintas partes interesadas del ámbito de la IA, para reunir objetivos y recursos orientados al aprovechamiento de sus potencialidades, tales como las del sistema científico tecnológico, la industria, los capitales privados emergentes, las empresas innovadoras, etc. y posibilitar el posicionamiento del bloque en el contexto mundial.

El Consejo Europeo de octubre de 2017 puso en evidencia la urgencia de trabajar hacia una adopción responsable de las tecnologías emergentes tales como la IA.

En abril de 2018, Europa puso en marcha su estrategia para posicionar a la UE en el contexto mundial, con la convicción de proporcionar garantías de una IA fiable centrada en el ser humano.<sup>9</sup> La IA está presente en las agendas de los líderes europeos. La UE ya cuenta con normas comunes en materia de seguridad de las redes y sistemas de información y una versión actual para la protección de los datos personales y hacer posible la libre circulación de los datos personales dentro de la Unión. El reglamento contiene, entre otros avances innovadores, disposiciones sobre el tratamiento automatizado y otorga a los titulares de los datos el derecho a recibir información significativa.

---

<sup>9</sup> Veinticuatro Estados miembros y Noruega se comprometieron a cooperar en este ámbito.

El documento de las directrices éticas para una IA fiable fue publicado en abril de 2019, en el marco de la Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión Europea, elaborado por la Comisión de expertos que reunió a las partes interesadas para que realicen sus contribuciones.<sup>10</sup>

Aborda principios éticos y directrices para dar cumplimiento a los tres componentes de la IA fiable:

1. IA lícita, que garantice el respeto a los Ordenamientos Jurídicos.
2. IA ética, que vele por el cumplimiento de los principios y valores éticos.
3. IA robusta, que busque evitar los posibles daños que deriven de su uso.

Con ellos pretende establecer un marco para los sistemas de IA a lo largo de todo su ciclo de vida. Dirime sobre cuestiones tales como el futuro del trabajo, la equidad, la seguridad, la protección, la inclusión social y la transparencia de los algoritmos.

La Comisión continúa trabajando en sus revisiones para lograr avances a nivel internacional en materia de ética. Además, supervisa la evolución de la situación, revisa los marcos jurídicos para adaptarlos a los nuevos escenarios y para garantizar el respeto de los valores básicos y los derechos fundamentales de la Unión. También es consciente de la necesidad de garantizar los marcos reglamentarios para el desarrollo y el uso de las tecnologías de IA por parte de las autoridades públicas correspondientes.<sup>11</sup>

Por su parte, el libro elaborado por la Comisión publicado en febrero de 2020, titulado: “Libro Blanco sobre la inteligencia artificial - un enfoque europeo orientado a la excelencia y la confianza”, tiene el doble objetivo de promover la adopción de la inteligencia artificial y de abordar los riesgos vinculados a determinados usos de esta nueva tecnología.<sup>12</sup>

Su finalidad consiste en formular alternativas políticas para alcanzar esos objetivos; no aborda ni el desarrollo ni el uso de la inteligencia artificial para fines militares.<sup>13</sup>

No menos relevante son las recomendaciones formuladas por el Parlamento Europeo referidas a la robótica, que cuenta con dictamen del CESE.

La Comisión Europea y los Estados miembros han trabajado para el Plan Coordinado sobre la IA, que fue aprobado por el CESE en diciembre de 2021, acompañada de una solicitud expresa de acelerar su aplicación y convocar a los actores para tomar parte en el proceso.<sup>14</sup>

Además, la Comisión propicia el uso de tecnologías integradas con las energías eficientes y en armonía con el medio ambiente en toda la cadena de valor de la IA. El CESE se alinea esta la visión de la Comisión, siendo sus dos grandes pilares el Plan y el Reglamento en materia de IA.

---

<sup>10</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52018D0237>

<sup>11</sup> Comisión Europea, 2019

<sup>12</sup> <https://doi.org/10.32457/rjyd.v4i2.1349>

<sup>13</sup> [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020\\_es.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_es.pdf)

<sup>14</sup> <https://derecho-ntic.blogspot.com/2021/12/fomentar-un-enfoque-integral-europeo-en.html>

No menos necesaria resulta la articulación del Plan con la Estrategia Europea de Datos. Esto implica: la disposición de una única estructura de almacenamiento y protección de los datos y de las medidas de ciberseguridad, para la región.

La UE se asienta sobre un marco normativo sólido y equilibrado, que puede constituir la referencia mundial para un planteamiento sostenible con respecto a esta tecnología: La Propuesta de Reglamento del Parlamento y del Consejo por el que se establecen normas armonizadas sobre la Inteligencia Artificial de 21 de abril de 2021.<sup>15</sup>

El objeto del Reglamento es establecer “normas armonizadas para la comercialización, la puesta en servicio y el uso de sistemas de inteligencia artificial” y, en esencia, se regulan prohibiciones y requisitos específicos para los sistemas de IA de alto riesgo y obligaciones para los operadores de dichos sistemas.<sup>16</sup>

Por otra parte, la Comisión, como ya se señaló, ha avanzado sobre Reglamentos diversos conexos a la aplicación de la IA que revisten un carácter esencial para que los usuarios que interactúan con estas tecnologías puedan confiar y disponer de un entorno jurídico predecible, contando con la garantía de protección de los derechos y libertades fundamentales.

### **El modelo de Harvard**

El modelo publicado en 2020 presenta los principios éticos cuyos ejes se muestran a continuación:

1. PRIVACIDAD.
2. RENDICION DE CUENTAS.
3. SEGURIDAD Y PROTECCIÓN.
4. TRANSPARENCIA Y EXPLICABILIDAD.
5. JUSTICIA Y NO DISCRIMINACIÓN
6. CONTROL HUMANO DE LA TECNOLOGÍA
7. RESPONSABILIDAD PROFESIONAL
8. PROMOCIÓN DE VALORES HUMANOS

En líneas generales, los aspectos más novedosos del documento destacan las necesidades de: regulación, recomendaciones para ley de protección de datos, evaluación del impacto a largo plazo, monitoreo u observatorio, auditoría, responsabilidad medioambiental, verificabilidad y replicabilidad, rigurosidad científica en la investigación, gobierno humano sobre las decisiones automáticas, código abierto de datos y algoritmos, notificación de interactuar con IA, notificación de decisión tomada por IA acerca de personas, contratación abierta para gobiernos, no discriminación y prevención de sesgos y acceso a tecnología.<sup>17</sup>

---

<sup>15</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1623335154975&uri=CELEX%3A52021PC0206>

<sup>16</sup> <https://ceedia.org/2021/07/19/un-analisis-critico-constructivo-de-la-propuesta-de-reglamento-de-la-ue-por-el-que-se-establecen-normas-armonizadas-sobre-la-inteligencia-artificial-artificial-intelligence-act-2/>

<sup>17</sup> [https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/42160420/HLS%20White%20Paper%20Final\\_v3.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/42160420/HLS%20White%20Paper%20Final_v3.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## Las acciones de la comisión de ética de IA-LATAM y de otras organizaciones regionales

La comisión de ética de IA-LATAM, en febrero de 2019 publicó su primera versión de declaración de ética para el diseño, desarrollo y uso de la IA.

Enuncia once principios éticos para ser usados como punto de partida en la región.<sup>18</sup> A continuación, su transcripción literal,<sup>19</sup> con los comentarios de la autora entre [ ]:

1. Velar por el desarrollo de una IA al servicio de los individuos y la sociedad. La tecnología IA desarrollada debe obedecer a sus creadores, siempre y cuando no entren en conflicto con la autonomía humana, el bien individual y el bien común [establece una relación central entre el creador y el producto].

2. Los desarrolladores de IA son los responsables de sus proyectos [delega una gran responsabilidad en uno de los actores involucrados en el ciclo de vida de la IA] y deben tomar en consideración el impacto que cada proyecto pueda tener en la sociedad [alude sólo al impacto social, omitiendo los ecosistemas y el medio ambiente]. Trabajaremos para evitar las aplicaciones potencialmente dañinas o abusivas. A medida que desarrollemos e implementemos tecnologías de IA, evaluaremos los usos probables a la luz de los siguientes factores: Propósito, naturaleza e Impacto.

3. Dada la naturaleza no determinista de los sistemas inteligentes, se debe instaurar un sistema de pruebas y validaciones constantes, que incluya los inputs que se hacen al sistema y su comportamiento global. La arquitectura de los sistemas AI debe establecer límites de comportamiento. [no considera un dispositivo de evaluación de riesgo, y su rendición de cuentas se limita sólo a una instancia del ciclo de vida de la IA]

4. Proteger el derecho de cada persona sobre la privacidad de sus datos (información personal sensible) y de la misma forma darle un uso ético a la información de cada individuo siempre con el previo consentimiento de su titular. Se requerirá consentimiento de cada persona acerca del uso de la generación de nuevos datos creados desde la IA. [parece limitado si se lo compara con las propuestas de la Unión Europea, por ejemplo]

5. El desarrollo de una tecnología IA deberá cuidar los efectos sobre el medio ambiente. El impacto que cada creación pueda tener no puede representar una amenaza para nuestro entorno. [sólo se limita a evitar los efectos nocivos del uso de la IA en el medio ambiente, no promueve sistemas de IA cuyo propósito contemple desarrollo sostenible en armonía con el medio ambiente y los ecosistemas]

6. El desarrollo de tecnologías IA y sus efectos deben siempre estar apegado a la legislación vigente y respetar las normas culturales y sociales locales. [no define responsables ni partes interesadas]

7. Respetar y proteger la propiedad intelectual a todo nivel y al más alto estándar. Todos los actores involucrados en la creación recibirán la

---

<sup>18</sup> <https://ia-latam.com/etica-ia-latam/>

<sup>19</sup> <https://ia-latam.com/2019/02/28/ia-latam-lanza-su-primera-declaracion-de-etica-para-inteligencia-artificial/>

compensación correspondiente por su trabajo. [aspecto que ha sido abordado por UNESCO de manera específica y que, frecuentemente, está descuidado por los demás organismos internacionales y los Gobiernos]

8. Evitar los sesgos e impactos injustos en las personas, en particular las relacionadas con características sensibles como la raza, el origen étnico, el género, la nacionalidad, los ingresos, la orientación sexual, la capacidad y las creencias políticas o religiosas. [no especifica si los sistemas de IA deben evitarlo, en todo caso, los sistemas reproducen los sesgos existentes en las sociedades que se materializan en los datos con los que aquellos se entrenan]

9. La transformación laboral es una realidad, el desarrollo de la IA también debe como principio colaborar en la readaptación y colocación de la fuerza laboral que reemplace, mediante educación y complemento de las nuevas habilidades y competencias necesarias. [no necesariamente es el desarrollo de la IA el que debe colaborar en la readaptación de las personas para adecuarse al sistema laboral; es una nueva matriz productiva que las sociedades debemos construir para pensar en nuevas formas de producción, de trabajo y de distribución del ingreso. Constituye una discusión más bien general desde la ética y no sólo inherente a los sistemas de IA]

10. Destinar recursos y foco en la seguridad de los sistemas y datos. La ciberseguridad debe ser una prioridad para todos no sólo para mantener y mejorar los servicios sino como parte fundamental para crear las confianzas necesarias. [es parte del ecosistema de la IA, tan importante como la conectividad, la infraestructura tecnológica, los talentos en disciplinas CTIM, etc.]

11. Compromiso con la investigación abierta, el rigor intelectual, la integridad y la colaboración. Las herramientas de AI tienen el potencial de desbloquear nuevos ámbitos de investigación científica y conocimiento en dominios críticos como la biología, la química, la medicina y las ciencias ambientales. [los altos niveles de excelencia serán difíciles de alcanzar si nuestra región no define estrategias de sinergia con aliados internacionales, referentes mundiales de las economías más avanzadas. Hay mucho por innovar en la materia, los talentos necesitan aprender colaborativamente, en equipo, con un nivel de oportunidades que le posibilite el diálogo y el intercambio entre especialistas] Aspiramos a altos estándares de excelencia científica mientras trabajamos para avanzar en el desarrollo de la IA.<sup>20</sup>

Al decir del comité de ética de IA-LATAM, “Estamos presenciando el punto de inflexión tecnológico más notable y trascendente de la humanidad. En este contexto, hoy más que nunca debemos avanzar a pasos agigantados para lograr acuerdos en materia ética, manejo de datos y usos de la Inteligencia Artificial”

Recopila información actualizada de las acciones en este sentido en la región.

LAIP Internacional ha calificado a este comité como el único y principal actor de la región en los principios éticos globales.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> <https://ia-latam.com/etica-ia-latam/>

<sup>21</sup> <http://www.linking-ai-principles.org/principles>

## La iniciativa fAIr LAC para América latina y El Caribe y otras organizaciones de ALC

El Grupo BID, en colaboración con C Minds viene desarrollando estudios y publicaciones a través de la **iniciativa fAIr LAC**. Promueve la adopción responsable de la IA para fines sociales y para contribuir a minimizar la desigualdad de los países de América Latina y El Caribe (ALC).

Esta iniciativa lidera proyectos piloto orientados al bien social como respuesta a problemáticas públicas identificadas en ALC.

Además, promueve el debate público informado sobre las oportunidades de la IA, a través de la publicación titulada: “LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL AL SERVICIO DEL BIEN SOCIAL EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (ALC): panorámica regional e instantáneas de doce países”, publicada en mayo de 2020.<sup>22</sup>

El documento desarrolla un diagnóstico del estado de la IA para doce países de ALC: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, Paraguay, Perú, República Dominicana, Trinidad y Tobago, y Uruguay.

Los ejes temáticos de ética que se contemplan son: crecimiento inclusivo, desarrollo sostenible y bienestar, valores centrados en el ser humano y equidad, transparencia y explicabilidad, robustez, seguridad y protección, y rendición de cuentas. Están basados, en gran medida, en los lineamientos de la OCDE.<sup>23</sup>

Entre los hallazgos más destacados en materia de estrategias nacionales de IA para los países seleccionados, resultaron: Uruguay y Colombia como los más avanzados, Brasil y Chile en proceso, y México y Argentina emprendiendo esfuerzos en ese sentido.

Otros, no menos relevantes, son los referidos a la observación de aspectos inherentes a los ecosistemas de cada uno de los doce países, tales como: conectividad, infraestructura tecnológica, ciberseguridad, formación en disciplinas Ciencias, Tecnologías, Ingenierías y Matemática (CTIM), brecha de género, programas de formación en IA, investigación, desarrollo e innovación en IA, desigualdad, capital de riesgo, el ecosistema de emprendimiento, el compromiso y la participación de la sociedad civil, etc.

Es un documento que reúne información relevante a la hora de pretender formular políticas en ALC para favorecer el uso de una IA fiable hacia el bien común y su adopción responsable. Proporciona un diagnóstico en muy diversos aspectos del ecosistema de la IA, en base a estudios de referencia internacional desarrollados por expertos locales.

Por su parte, el reporte “Experiencia de datos e Inteligencia Artificial”, es un documento del CAF que fue publicado en 2021.

Reúne experiencias de la región y da cuenta de los avances en aspectos de ética para una apropiación responsable de la IA en el sector público.<sup>24</sup>

Por último, y sin ánimo de proveer un listado completo, cabe mencionar al Centro de Estudios Estratégicos de Derecho de la Inteligencia Artificial que también realiza contribuciones en este ámbito.<sup>25</sup>

---

<sup>22</sup> <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-inteligencia-artificial-al-servicio-del-bien-social-en-America-Latina-y-el-Caribe-Panor%C3%A1mica-regional-e-instant%C3%A1neas-de-doce-paises.pdf>.

<sup>23</sup> OCDE, 2019

<sup>24</sup> CAF, 2021

## Las estrategias nacionales

La mayoría de las estrategias nacionales busca potenciar la capacidad tecnológica e industrial, e impulsar la adopción de la IA, tanto en el sector privado como en el público, preparar el ecosistema para adaptarse a los cambios que emergen de su aplicación y garantizar el establecimiento de una gobernanza segura y ética.

Como ya se señaló, un adecuado abordaje de la ética constituye el primer paso hacia el diseño de un sistema de normalización y regulación nacional que posibilite dar respuestas a los requerimientos que emergen en el mercado internacional en materia de IA.

Canadá, en su adopción de estrategia de IA, a través de su Instituto de ética de IA de Montreal (MAIEI), publicó en junio de 2020 su primer informe sobre la temática y los avances en el país.<sup>26</sup>

En los Estados Unidos y en China, las grandes empresas están invirtiendo considerablemente en IA y explotando grandes cantidades de datos.

El Gobierno de los Estados Unidos presentó una estrategia sobre IA e invirtió mil millones de euros en investigación sobre IA en 2016.

En enero de 2020, la Oficina de Administración y Presupuesto presentó la Guía para la reglamentación de las aplicaciones de la IA de los Estados Unidos. El documento aborda aspectos técnicos y marca el comienzo de la regulación de la IA en ese país. Define 10 principios para la IA débil o aprendizaje automático y no incluye un calendario para su implementación.

En la primera mitad de 2020, los miembros del Congreso introdujeron proyectos de ley relevantes. El tema más destacado es el reconocimiento facial. En junio de 2020, el Comité de Política Tecnológica de los Estados Unidos (USTPC) de la Asociación de Maquinaria de Computación (ACM) emitió una declaración sobre los principios y requisitos previos para el desarrollo, la evaluación y el uso de tecnologías de reconocimiento facial no sesgadas: «...insta a que se suspenda inmediatamente el uso actual y futuro, privado y gubernamental, de las tecnologías de reconocimiento facial en todas las circunstancias conocidas o razonablemente previsibles que sean perjudiciales para los derechos humanos y legales establecidos».<sup>27</sup>

En China, el Centro de Investigación para la Ética y el Desarrollo Sostenible de la IA de la Academia de Inteligencia Artificial de Beijing es la institución dedicada a abordar la temática. En su Carta de valores desarrolla 15 principios que no se incluyen en este documento, si bien se han tenido en cuenta para su desarrollo.<sup>28</sup>

Con su «Plan de desarrollo de la inteligencia artificial de próxima generación», China ambiciona alcanzar el liderazgo mundial en 2030 y está efectuando inversiones en: Plataformas y modelos de aprendizaje automático altamente seguros, Modelo de

---

<sup>25</sup> <https://ceedia.org/>

<sup>26</sup> <https://montrealethics.ai>

<sup>27</sup> <https://topbigdata.es/la-regulacion-de-la-ia-sigue-siendo-esquiva-noticias/>

<sup>28</sup> <https://www.baai.ac.cn/en/ai-esd>

adquisición y aprendizaje autónomo inteligente de la ética, la moral y los valores humanos, Sistema de seguridad y privacidad de datos, Plataforma de gobernanza sintética de riesgos y seguridad de inteligencia artificial, e Inteligencia artificial para los Objetivos de Desarrollo Sostenible Think Tank.<sup>29</sup>

The Alan Turing Institute, de Reino Unido está trabajando con un enfoque ético de los datos para proveer un marco político en el abordaje multidisciplinario realizado por desarrolladores y titulares de los datos.<sup>30</sup>

El Comité alemán sobre ética en materia de datos propone un sistema de regulación de cinco niveles basado en el riesgo, que va desde la ausencia de regulación en el caso de los sistemas de IA más inocuos hasta la prohibición absoluta en el caso de los más peligrosos.

Dinamarca puso en marcha un prototipo de «sello de ética de los datos».

Malta, en su estrategia nacional ha incorporado un sistema voluntario de certificación de la IA

México, fue uno de los diez primeros países en presentar que su estrategia nacional de IA en 2018. En septiembre de 2020 se publicó la Agenda Nacional Mexicana de IA, desarrollada por la coalición IA2030Mx, que contiene un enfoque ético.<sup>31</sup>

En Colombia, MiLAB - Laboratorio govtech de Colombia, desde 2018, y en alianza con el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), lleva adelante la iniciativa govtech.<sup>32</sup> Consiste en la construcción de un ecosistema donde los gobiernos colaboran con Startups y Pymes, que utilizan inteligencia de datos, tecnologías digitales y metodologías innovadoras, para proveer productos y servicios que resuelvan problemáticas públicas.<sup>33</sup>

El marco ético para la IA en Colombia, publicado en agosto de 2020 para los sectores tanto público como privado, constituye un primer avance hacia la regulación en este país.<sup>34</sup>

Por su parte, el gobierno de Brasil, en abril de 2021, manifestó mediante ordenanza que la Estrategia Brasileña de Inteligencia Artificial debe ser guiada por acciones de investigación, innovación y desarrollo de soluciones a través del uso consciente, ético y a favor de un futuro mejor<sup>35</sup>.

Éstos son ejemplos de las intenciones de los países, en diferentes grados de ejecución, de institucionalizar marcos éticos y regulatorios de la IA hacia el bien común.

---

<sup>29</sup> <https://www.baai.ac.cn/en/ai-esd>

<sup>30</sup> <https://www.turing.ac.uk/people/honorary-fellows/james-hetherington>

<sup>31</sup> <https://agenda-nacional-mexicana-de-inteligencia-artificial/>

<sup>32</sup> [https://innpulsacolombia.com/sites/default/files/documentos-recursos-pdf/Metodologia\\_MiLAB\\_Version1-2021%201.pdf](https://innpulsacolombia.com/sites/default/files/documentos-recursos-pdf/Metodologia_MiLAB_Version1-2021%201.pdf)

<sup>33</sup> <https://innpulsacolombia.com/milab/nosotros>

<sup>34</sup> <https://marco-etico-para-la-inteligencia-artificial-en-colombia/>

<sup>35</sup> <https://www.computerweekky.com/es/cronica/Brasil-puede-ser-pionero-en-la-regulacion-de-la-inteligencia-artificial-en-America-Latina>

## Un punto de partida consensuado. Las recomendaciones de la UNESCO

En la 41ª sesión de la Conferencia General de la UNESCO, las Naciones Unidas adoptaron un acuerdo icónico: que fue publicado el 25 de noviembre de 2021, “Recomendación sobre la ética de la Inteligencia Artificial”, con una participación de los representantes de 68 países miembros, considerando las recomendaciones de la Comisión Mundial de Ética del Conocimiento Científico y la Tecnología (COMEST) en el marco de los ODS y prestando especial atención a los países de ingreso mediano bajo, incluidos entre otros, los países menos adelantados (PMA), los pequeños Estados insulares en desarrollo (PEID) y los países en desarrollo sin litoral (PDSL).<sup>36</sup>

Ese documento dirime sobre las definiciones de IA, su ciclo de vida, los actores involucrados, la responsabilidad, la personería jurídica, la necesidad de contar con medidas y acciones de gobierno para regular su diseño, desarrollo, despliegue e impacto en: la salud, el bienestar, la educación, la investigación, la cultura, la comunicación, entre otros.

Propone sistemas auditables, certificables, rendición de cuentas, responsabilidades compartidas por todos los actores involucrados en el ciclo de vida de la IA, transparencia y explicabilidad para una IA fiable.

Desde una perspectiva multidisciplinaria, multisectorial, multilateral, multicultural y respetuosa de los derechos humanos internacionales, desarrolla 10 principios que se inspiran en 4 valores, para materializarse en 11 Recomendaciones de Acción política dirigidas a los Estados Miembros, haciendo hincapié en la inclusión, las cuestiones de igualdad de género y la protección del medio ambiente y los ecosistemas.

Representa el consenso de una base para guiar el tratamiento responsable de los impactos conocidos y desconocidos de las tecnologías inteligentes en los seres humanos, las sociedades y el medio ambiente.

### *Acerca de sus VALORES*

*Respeto, protección y promoción de los derechos humanos, las libertades fundamentales y la dignidad humana:* Resalta a la dignidad humana como aspecto esencial a lo largo de todo el ciclo de vida de los Sistemas de IA, con independencia de las características específicas de las personas, poniendo especial énfasis en aquellos que interactúan con ellas. Además, les requiere que den cuenta de su contribución a la mejora de “la calidad de vida”. Insta a todos los actores involucrados en su ciclo de vida a responsabilizarse para que estas tecnologías proporcionen nuevos medios para promover, defender y ejercer los derechos humanos, y no para vulnerarlos.

*Prosperidad del medio ambiente y los ecosistemas:* Todos los actores deben comprometerse. Hace explícito el requerimiento de reducir el impacto ambiental de los sistemas de IA como, por ejemplo, aunque no exclusivamente, la huella de carbono; con el fin de evitar el deterioro del medio ambiente y la degradación de los ecosistemas

*Garantizar la diversidad y la inclusión:* Invita a la participación activa de todas las personas para promover la diversidad y la inclusión en los sistemas de IA. Sostiene la necesidad de respetar las diversidades culturales y la de fomentar la cooperación

---

<sup>36</sup> [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379920\\_spa\\_page=15](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379920_spa_page=15)

internacional para garantizar que las carencias propias de algunas comunidades como los PMA o PEID no reproduzcan esas desigualdades.

*Vivir en sociedades pacíficas, justas e interconectadas:* Alude a que el potencial de la IA está fundamentado en la interconexión de las personas y de los demás seres vivos; que los actores deben propender sociedades pacíficas y justas. En un enfoque holístico, la concepción de que cada individuo es consciente de pertenecer a una integridad que sólo alcanza su plenitud cuando cada uno de los miembros también lo logra, porque es parte de ese todo. Este valor exige que se promuevan además la inclusión y la equidad.

*Los PRINCIPIOS éticos:*

*Proporcionalidad e inocuidad:* Es necesario comprender que los sistemas de IA no garantizan necesariamente la prosperidad de los seres humanos ni del medio ambiente y los ecosistemas. En este sentido, los actores responsables a lo largo de su ciclo de vida deben aplicar procedimientos de evaluación de riesgos y la adopción de medidas para impedir que se produzcan daños. Además, el modelo asociado al sistema de IA debe ser adecuado y proporcional al objetivo, no vulnerar los valores ni los derechos humanos, ser adecuado al contexto y basado en fundamentos científicos rigurosos. La decisión final debe ser adoptada por un ser humano. “En particular, los sistemas de IA no deberían utilizarse con fines de calificación social o vigilancia masiva.”<sup>37</sup>

*Seguridad y protección:* Para garantizar la seguridad y la protección de los seres humanos, del medio ambiente y de los ecosistemas, sugiere la necesidad de contar con marcos adecuados de acceso que mejoren la calidad de los datos usados para entrenar y validar. Especifica la necesidad de evitar los riesgos de seguridad (daños no deseados) y los de protección (vulnerabilidad a los ataques).

*Equidad y no discriminación:* Los actores responsables deben asegurar que los beneficios de los sistemas de IA sean accesibles a todas las personas. Estos sistemas deberían contemplar el contexto local y la identidad cultural, la equidad entre las zonas rurales y urbanas. Los países más avanzados tecnológicamente tienen la responsabilidad de ser solidarios no sólo con los aspectos que hacen al acceso y la disminución de brechas, sino también con la oportunidad de participación de los países en condiciones más desfavorables para construir un orden mundial más equitativo y solidario. Abordar las brechas digitales y de conocimientos dentro de los países y entre ellos. “Debería disponerse de un recurso efectivo contra la discriminación y la determinación algorítmica sesgada.”

*Sostenibilidad:* Los sistemas de IA han dado cuenta de sus impactos positivos y negativos sobre el logro de Objetivos Sostenibles, tales como los ODS de la ONU. En este sentido, resulta inexorable contar con procesos de evaluación de efectos sobre dimensiones tales como: humanas, sociales, culturales, económicas y ambientales, para estos sistemas.

*Derecho a la intimidad y protección de datos:* Todas las acciones sobre los datos utilizados deben estar alineadas al derecho internacional, a los marcos jurídicos nacionales, regionales e internacionales pertinentes y a los valores y principios enunciados. Además, expresa la necesidad de crear nuevos marcos de protección de datos y mecanismos de

---

<sup>37</sup> [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379920\\_spa\\_page=15](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379920_spa_page=15)

gobernanza para todo el ciclo de vida de los sistemas de IA, nacionales y regionales, atendiendo a las múltiples partes interesadas. Así también, incluir consideraciones sociales y éticas relativas a la privacidad en las evaluaciones de impacto y comprometer a los actores en sus roles de responsables de la protección de datos.

*Supervisión y decisión humanas:* La responsabilidad ética y jurídica, inherentes a los sistemas de IA debe recaer sobre personas físicas o entidades jurídicas. La supervisión humana se refiere a la supervisión individual y a la supervisión pública de carácter inclusiva. Un sistema de IA nunca podrá reemplazar la responsabilidad final de los seres humanos y su obligación de rendir cuentas y, además, las decisiones de vida o muerte no deberían cederse a los sistemas de IA.

*Transparencia y explicabilidad:* Las propone a ambas como condiciones previas para garantizar el respeto, la protección y la promoción de los derechos humanos, las libertades fundamentales y los principios éticos. El grado de transparencia y explicabilidad requerido debe ser adecuado al contexto y al efecto. Ambos están estrechamente relacionados con la fiabilidad de los sistemas de IA y con la responsabilidad y rendición de cuentas. Puede ser necesario encontrar un equilibrio entre ellos y entre otros como la privacidad, la seguridad y la protección. Las personas deberían conocer y comprender las decisiones basadas en IA. Cuando esas decisiones afecten a su seguridad o a sus derechos humanos, deben contar con la posibilidad de requerir explicaciones a los actores correspondientes. También deben tener acceso a conocer los fundamentos de decisión que afectan a sus derechos y libertades, y contar con la posibilidad de requerir revisiones y enmendar la decisión. Los actores de la IA deben informar a los usuarios, de manera adecuada y oportuna, la presencia de algoritmos de IA en productos y servicios. La transparencia en los sistemas de IA puede permitir a las personas comprender cómo se implementa cada etapa de un sistema de IA y proporcionar información sobre los factores que influyen en los resultados de estos sistemas. En determinadas situaciones, en razón de la transparencia, será posible y necesario compartir códigos o conjuntos de datos. La explicabilidad supone hacer inteligibles los resultados de los sistemas de IA y facilitar información sobre ellos. También se refiere a la inteligibilidad de la entrada, salida y funcionamiento de cada componente de la arquitectura de los sistemas y la forma en que contribuyen al producto final. Los resultados y los subprocesos que conducen a ellos deberían aspirar a ser comprensibles y trazables, apropiados al contexto. Los actores de la IA deben comprometerse con estos dos atributos de los sistemas y además deberían garantizar que se proporciona una explicación satisfactoria con toda decisión que haya dado lugar a la acción tomada, a fin de que el resultado se considere transparente.

*Responsabilidad y rendición de cuentas:* La responsabilidad ética y la obligación de rendir cuentas deberían ser atribuibles a los actores de la IA conforme al rol que tengan en el ciclo de vida del sistema de IA. Para garantizar la rendición de cuentas como y el control del impacto a lo largo de su ciclo de vida, contempla la necesidad de contar con mecanismos de supervisión, evaluación del impacto, auditoría y diligencia debida. Así también, los requeridos para garantizar su auditabilidad y su trazabilidad. Pone especial énfasis en las situaciones de conflicto con las normas relativas a los derechos humanos y las amenazas al bienestar del medio ambiente y los ecosistemas

*Sensibilización y educación:* Textualmente, se transcribe

la educación abierta y accesible, la participación cívica, las competencias digitales y la capacitación en materia de ética de la IA, la alfabetización mediática e informacional y la capacitación dirigida conjuntamente por los gobiernos, las organizaciones intergubernamentales, la sociedad civil, las universidades, los medios de comunicación, los dirigentes comunitarios y el sector privado, y teniendo en cuenta la diversidad lingüística, social y cultural existente, a fin de garantizar una participación pública efectiva, de modo que todos los miembros de la sociedad puedan adoptar decisiones informadas sobre su utilización de los sistemas de IA y estén protegidos de influencias indebidas.

El aprendizaje sobre el impacto de los sistemas de IA debería incluir el aprendizaje sobre los derechos humanos y las libertades fundamentales, a través de ellos y para ellos, lo que significa que el enfoque y la comprensión de los sistemas de IA deberían basarse en el impacto de estos sistemas en los derechos humanos y el acceso a esos derechos, así como en el medio ambiente y los ecosistemas.

*Gobernanza y colaboración adaptativas y de múltiples partes interesadas:* En este sentido promueve la regulación de datos atendiendo a la soberanía nacional de conformidad con el derecho internacional. Además, la participación de las diferentes partes interesadas para contribuir al desarrollo sostenible. A saber, entre otras: “...los gobiernos, las organizaciones intergubernamentales, la comunidad técnica, la sociedad civil, los investigadores y los círculos universitarios, los medios de comunicación, los responsables de la educación, los encargados de formular políticas, las empresas del sector privado, las instituciones de derechos humanos y los organismos de fomento de la igualdad, los órganos de vigilancia de la lucha contra la discriminación y los grupos de jóvenes y niños...”

Por último, sugiere que se adopten estrategias para garantizar la interoperabilidad, la adaptación a los cambios tecnológicos y sociales, destacando la necesidad de participación de personas, comunidades, grupos marginados, pueblos indígenas, entre otros; para asegurar su autonomía en la gestión de sus datos.

### *ÁMBITOS DE ACCIÓN POLÍTICA*

En sus once ámbitos de acción política desarrolla las recomendaciones a los Estados miembro para ser incorporadas en sus agendas de gobierno.

1. *Evaluación del Impacto Ético*
2. *Gobernanza y Administración Éticas*
3. *Política de Datos*
4. *Desarrollo y Cooperación Internacional*
5. *Medio Ambiente y Ecosistemas*
6. *Género*
7. *Cultura*

8. *Educación e Investigación*
9. *Comunicación e Información*
10. *Economía y Trabajo*
11. *Salud y Bienestar Social*

Las medidas a las que invita a los Estados miembros a adherir en los ámbitos 1 y 2, esencialmente se refieren a la constitución del marco regulatorio del impacto ético de la IA a lo largo de todo su ciclo de vida, haciendo partícipes a todos los actores involucrados, con un enfoque multisectorial, multidisciplinario y multilateral (Gobernanza y Administración), para velar por los derechos humanos, las libertades fundamentales, las sociedades inclusivas, en armonía con el medio ambiente y los ecosistemas. Inspirada en los valores y principios de esta Recomendación, delinea los mecanismos y recursos necesarios para la Evaluación del Impacto y la Gobernanza y Administración.

Algunos aspectos destacables:

- La necesidad de implementar marcos que contemplen las desigualdades de brecha digital, tanto en el acceso a los beneficios de la IA, como en su posible impacto nocivo y también en la igualdad de participación en los procesos decisionales de todo el ciclo de vida de estas tecnologías, de los datos asociados y de sus procesos.
- El requerimiento de establecer, juntamente con los actores involucrados (incluidos, entre otros, investigadores, aseguradores, inversores, fabricantes, ingenieros, abogados, usuarios), mecanismos de evaluación y de vigilancia de carácter proactivo, preventivo y correctivo para todo el ciclo de vida de la IA; con la posibilidad de implementar procesos de prueba de laboratorio de aquellos sistemas que potencialmente sean riesgosos para los derechos humanos.
- Mecanismos que contemplen los riesgos actuales y futuros y resulten adaptables.
- Pone énfasis en los sistemas de IA para los servicios públicos y los que tienen interacción directa con el usuario final.
- Invita a los Estados Miembros a generar mecanismos de regulación para contar con sistemas de IA certificables (gobernanza blanda), con los atributos propios de los sistemas de gestión normalizados, y que puedan extender su validez a las regiones. En este sentido, desarrolla en extenso las consideraciones para llevar a cabo la medida propuesta, las que, a su vez, en opinión de la autora, son muy similares a las de los sistemas de gestión de la calidad que se implementan desde hace más de cuatro décadas en el mundo entero con lo cual resultaría accesible y fluida su adecuación.
- Resalta el principio de la supervisión humana, la responsabilidad y la rendición de cuentas sólo para las personas físicas o jurídicas (no a los propios sistemas de IA), y la necesidad de aplicar políticas para dar garantías que, las acciones de los actores de la IA se ajustan a derecho y evidencian compromiso con los valores y principios éticos.

Por último, en extenso, sugiere medidas específicas para: los hallazgos de los sistemas de IA tales como sacarlos del mercado y reparar el daño, los requisitos de transparencia y explicabilidad para una IA fiable, entre otras.

En relación a la *Política de Datos*, en consonancia con las medidas anteriores, sugiere la evaluación continua de los datos de entrenamiento y otras medidas adecuadas para la seguridad y la protección.

Adoptar marcos legislativos en tal sentido y mecanismos para la vigilancia, alentando el cumplimiento de las normas de los organismos internacionales.

Bregar por la existencia de un marco regulatorio para que las personas conserven sus derechos personales, con los mecanismos necesarios para salvaguardar los valores y principios de esta recomendación. En un adecuado equilibrio entre el control de los datos personales y la libre circulación de información a nivel internacional, incluido el acceso a los datos.

Promover repositorios abiertos de datos y códigos fuente públicos a fin de facilitar el intercambio seguro, equitativo, legal y ético de datos. Implementar mecanismos para proveer conjuntos de datos abiertos y fiables para los sistemas de IA, con un enfoque de patrimonio digital común de las naciones, incentivando al sector privado a sumarse a esta estructura beneficiosa para todos.

Esta última medida, sin duda podría implicar un gran cambio paradigmático en el sentido del valor económico y del poder financiero que actualmente se asocia a los datos.

En relación con el *Desarrollo y Cooperación Internacional*, completando así los elementos más estructurales de estas recomendaciones, alude a la participación de las empresas transnacionales.

Velar por el establecimiento de plataformas de cooperación internacional en el ámbito de la IA, basadas en los aspectos del desarrollo de las sociedades. Promover la cooperación en materia de investigación e innovación en IA, específicamente las relativas a la ética, procurando el intercambio entre los países más y menos avanzados tecnológicamente.

En relación al *Medio Ambiente y Ecosistemas*, les requiere a los Estados Miembros que evalúen los impactos relacionados directa e indirectamente con los sistemas de IA, sus infraestructuras de datos para asegurar el cumplimiento de los requerimientos ambientales. De conformidad con el principio de proporcionalidad, los métodos elegidos de IA deberían ser eficientes en materia de energía y recursos, y de ser necesario, conforme al principio de precaución, no utilizarse si el impacto resulta desproporcionadamente negativo.

Además, sugiere que establezcan incentivos para aquellas propuestas basadas en IA que contribuyan al cuidado y la mejora del medio ambiente y los ecosistemas, fomentando la participación de comunidades locales y la economía circular. Por ejemplo: resiliencia ante el riesgo de desastres, regeneración del medio ambiente, etc.

En materia de *Género*, realiza un tratamiento integral y acabado. Alude al potencial de los sistemas de IA para impulsar la igualdad de género, incluyendo esta perspectiva como transversal. Velar por la participación de la mujer en todos los procesos relacionados con la IA, por corregir proactivamente los estereotipos de género discriminatorios, especificando medidas concretas de sensibilización, formación, investigación, programas de apoyo con financiamiento o incentivos, mecanismos de evaluación y participación, diseño de políticas, etc. Todos ellos destinados a compensar la desequilibrada participación de mujeres y hombres, y fomentar la representación de género en las decisiones. Por ejemplo, en los espacios de investigación de IA, en la formación de disciplinas CTIM, etc.

Referido a *Cultura*, alienta a los Estados Miembros para que incorporen en sus sistemas de IA aspectos relativos a la preservación del patrimonio cultural local como las lenguas y los dialectos. A vigilar su potencial efecto nocivo sobre las diversidades culturales. A promover la educación en IA de los actores del escenario de la cultura, tales como artistas

e industrias locales, para garantizar su participación eficaz y la apropiación de estas tecnologías. A fomentar la investigación en materia de propiedad intelectual en este ámbito. A los museos, galerías, bibliotecas y demás organizaciones de la cultura, para que utilicen sistemas de IA; como así también, articular entre ellos y las empresas tecnológicas para trabajar en el mismo sentido.

Recomienda a los Estados Miembros, una extensa lista de once artículos relativos a *Educación e Investigación*. Para la primer, en línea con el infrapoder de Giddens,<sup>38</sup> destaca su relevancia para el empoderamiento social y la reducción de desigualdades. Así, exhorta a trabajar en colaboración multidisciplinar, multisectorial y multilateral para la adopción responsable de estas tecnologías a gran escala.

Expresa la necesidad de construir diseños curriculares para los sistemas educativos formales que abarquen disciplinas conexas y de soporte de la IA, como el estímulo de habilidades blandas, la ética y el pensamiento computacional, en un marco de respeto a las diversidades culturales y con perspectiva de género. Fomenta la instrumentación orientada a sensibilizar a las personas en el uso responsable de la IA.

Alienta al uso de la IA en los procesos educativos y de aprendizaje, para los que desarrolla una extensa lista de requerimientos que deberían ser considerados.

En materia de investigación, deben promover investigaciones sobre ética en IA como así también velar por que los investigadores tengan formación en este sentido y alentar al sector privado para que faciliten el acceso a sus datos a la comunidad científica. Promover la investigación interdisciplinaria, rigurosa e independiente y garantizar que los procesos y resultados de estas investigaciones estén controlados para evitar usos indebidos. Por último, promover la adopción responsable de sistemas de IA como recurso investigativo en todas las áreas de aplicación.

En relación a *Comunicación e Información*, como en otras medidas, invita a los Estados Miembros a usar la IA para mejorar el impacto en este ámbito. Por otra parte, los actores de la IA deben estar sujetos a regulaciones que respeten y promuevan la libertad de expresión y el acceso a la comunicación. Además, que los medios de comunicación tengan los recursos necesarios para garantizar que pueden informar adecuadamente sobre los aspectos inherentes a la adopción responsable de sistemas de IA y que hagan uso ético de estos sistemas.

En relación a *Economía y Trabajo*, insta a los Estados Miembros a transformar sus procesos educativos acordes a las nuevas demandas del mercado laboral y a fortalecer en habilidades blandas, esto es: pensamiento crítico, trabajo en equipo, empatía, adaptación a los cambios, entre otros. En el mismo sentido llama a promover y generar acuerdos de colaboración intersectoriales para adecuar los programas a los nuevos escenarios y garantizar una reconversión laboral protegida, con la financiación pública requerida a tal efecto. También contemplar que los regímenes fiscales se ajusten para contrarrestar los efectos nocivos de la automatización basada en la IA. Además, fomentar la investigación interdisciplinaria que anticipe de manera proactiva el impacto de los sistemas de IA en el mercado laboral local.

Por último, deben impedir los abusos de posición dominante en el mercado en relación con los sistemas de IA. Los actores que desarrollen sistemas de IA desde países que ya

---

<sup>38</sup> Giddens, 1998

cuentan con regulaciones, deben respetarla también en el mercado internacional con más las regulaciones propias de este contexto.

El último ámbito de actuación, *Salud y Bienestar Social* también es especialmente vigente en este escenario de Nueva normalidad. Refiere a la solidaridad internacional para el uso de sistemas de IA para hacer frente a riesgos de salud en el plano mundial. Los Estados Miembros deben garantizar que los sistemas de IA relacionados con la salud estén regulados de modo que resulten seguros y eficaces y faciliten avances médicos. No menos importante, la necesidad de participación de las partes involucradas en todas las etapas del desarrollo del sistema (pacientes, familiares, organizaciones de salud, de seguro, etc.). Pone especial atención en las investigaciones referidas a posibles daños de los sistemas de IA para la salud mental, como así también para las interacciones de estos sistemas con las personas, como es el uso de robots en la atención de salud o para uso infantil, o los conversacionales, por ejemplo.

En las neurotecnologías y las interfaces cerebro ordenador, en las que se usan sistemas de IA, deben tomarse especialmente en cuenta los aspectos éticos con el fin de preservar la dignidad y autonomía humanas.

Los Estados Miembro deben velar por que las personas puedan discernir (test de Turing) si interactúan con seres vivos o sistemas de IA y poder decidir el agente con el que interactúan. Aplicar políticas de antropomorfización como las relativas a evaluar sus limitaciones cuando se trata de interacciones entre robots y niños. Y alentar la investigación colaborativa sobre los efectos de estas interacciones a largo plazo, como así también el efecto de estas tecnologías en el desempeño del sistema de salud. Por último, expresa la necesidad de establecer mecanismos de participación en conversaciones y debates, en la medida que sea pertinente, de niños y jóvenes.

Además de todas las consideraciones realizadas en las otras medidas y que se desprenden obligadas para esta.

También desarrolla los procesos de seguimiento y evaluación, para los que expresamente el organismo ofrece contribución en el corto plazo.

Así constituye un documento medular, que excede al campo propio de la UNESCO, ya que, partiendo de la ética, propone acciones concretas para materializar un desarrollo sostenible con cooperación multilateral, con marcos normativos y regulatorios que tiene por finalidad encauzar los grandes debates de la IA aplicada y su impacto.

### **El escenario en Argentina hacia una Nueva normalidad**

La mayoría de las economías avanzadas reconocen en la IA un motor de cambio de las prácticas globales, que se materializa en transformaciones de sus propios sistemas políticos, económicos, culturales y sociales.

Nuestro país, como ya se referenció, viene realizando esfuerzos en este sentido, aunque fragmentados y discontinuados. Este trabajo no contiene una recopilación en este sentido.

Argentina es un país pionero en ALC en la adopción de la IA. Los antecedentes en investigación sobre IA emergen de sus principales universidades y de sus centros de investigación externos, tales como INTA y CONICET.

Entre las principales fortalezas nacionales, se destacan: la formación académica y profesional, la actividad científica, las tendencias y el estado del arte en la evolución de los

conceptos que sustentan la informática práctica, y el respaldo otorgado por instituciones de máximo prestigio, cuya participación es un elemento que distingue a Argentina de otros países de la región.

En el sector privado, el ecosistema de emprendimiento cuenta con empresas emergentes dedicadas a la IA, gracias a los apoyos legales y a la participación de inversionistas y fondos de capital.

Por su parte, actores de la sociedad civil desarrollan acciones comprometidas con la apropiación responsable de la IA y exhiben casos de uso de IA aplicada para el bien social. Sin embargo, se encuentran en diferentes grados de madurez y en un ecosistema fragmentado.

En materia del tratamiento desde una perspectiva ética para la IA, el panorama es similar.

Desde el sistema científico nacional existen contribuciones más o menos consolidadas tales como el Proyecto GuIA, que a través del Centro de Estudios en Tecnología y Sociedad (CeTyS) de la Universidad de San Andrés, participa en una iniciativa cuya finalidad consiste en construir una base dedicada a la reflexión y puesta en práctica de principios e instrumentos para las políticas de IA. Convoca a autores provenientes de Argentina, Colombia, Chile, México, Uruguay, y Trinidad y Tobago.<sup>39</sup> “Caja de herramientas humanísticas”, es un producto de investigación que explora contribuciones recientes sobre los principales riesgos éticos asociados con esta tecnología-

Por su parte, el Grupo multidisciplinario de Investigación de Inteligencia Artificial, Filosofía y Tecnología (GIFT) también trabaja para un mejor entendimiento de los problemas éticos que surgen en torno a tecnologías como la IA.

En el mismo sentido, desde el Estado nacional, a finales de 2019 el Senado argentino creó la Comisión del Futuro, en la que se ven representados diversos actores tales como: legisladores, universidades, Academia de Ciencia, instituciones y centros tecnológicos, para abordar asuntos tales como el futuro del trabajo.

A principios de 2020 se creó el Comité Nacional de Ética en la Ciencia y la Tecnología (CECTE) en el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva como parte de su estrategia digital.<sup>40</sup> Es un espacio institucional que se autodefine como crítico, pluralista y transdisciplinario, para analizar los aspectos éticos asociados a todos los procesos del conocimiento científico y tecnológico. Analiza los problemas éticos en torno al uso de las nuevas tecnologías, y supervisa las propuestas de legislación y políticas públicas asociadas.<sup>41</sup>

Orientado a las regulaciones blandas, El Organismo Argentino de Normalización y Certificación publicó la primera edición de la norma IRAM 50520 2017: “Gestión de la innovación – Sistema de vigilancia e inteligencia estratégica”, como resultado del consenso técnico de los diversos sectores involucrados.

La novedad más llamativa es la incorporación al sistema de gestión, cuya estructura conserva intacta la de la norma ISO\_IRAM 9001, del sistema de vigilancia e inteligencia estratégica (VeIE) con el objetivo de facilitar la detección oportuna de los cambios y las novedades que provienen del contexto de las organizaciones, en permanente evolución, y el

---

<sup>39</sup> <https://guia.ai/>

<sup>40</sup> <http://www.cecte.gov.ar/>

<sup>41</sup> <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/195154/20181105>

posterior proceso de información de valor estratégico para la toma de decisiones de su rumbo.<sup>42</sup>

Muchas otras evidencias, desde diversos sectores nacionales y locales, dan cuenta de la preocupación de los actores relacionados con la IA de dar tratamiento al marco ético y regulatorio del ecosistema nacional de la IA hacia el bien común.

El Banco Mundial le otorga a Argentina un puntaje de 78,88/100 en su capacidad estadística.

Esta calificación de la entidad refleja la aptitud del país para recopilar, analizar y difundir datos de alta calidad sobre su población y economía<sup>43</sup> En 2016, el gobierno argentino promulgó el Plan de Modernización del Estado para avanzar hacia “una administración pública moderna y eficiente al servicio del ciudadano y con equipos técnicos capacitados que brinden soluciones dentro de un marco de ética, transparencia, rendición de cuentas y perspectiva de género”.<sup>44</sup>

Las iniciativas gubernamentales para implementar una estrategia nacional son un factor clave para el ecosistema de IA en el país.

Constituyen una oportunidad estratégica para revertir brechas tecnológicas, de género y de calidad de vida, y consolidar la soberanía nacional en el escenario global de la Nueva normalidad.

En este sentido, generar espacios con la dinámica de Think Tank para investigar sobre la ética y la gobernanza de la IA en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, bregar para que la innovación científica y tecnológica de la IA sea beneficiosa para la sociedad y el medio ambiente e indagar sobre los aspectos éticos y regulatorios en el mundo y las oportunidades de apropiación para nuestro país, constituyen medidas claves.

### **La IA nos interpela por sociedades más humanas**

El componente más destacado entre los que conforman el gran universo de los sistemas actuales de IA es su conjunto de datos.

Los sistemas conexionistas basan su aprendizaje en los ejemplos que se les suministra durante el entrenamiento. Las arquitecturas más avanzadas de estos modelos de Aprendizaje Automático, las de Aprendizaje profundo y por Refuerzo, requieren de grandes volúmenes de datos para alcanzar resultados de altísimas precisión y exactitud.

Mientras tanto, el volumen de datos producido en el mundo crece rápidamente, de 33 zetabytes en 2018 a una proyección de 175 zetabytes en 2025.<sup>45</sup> La manera en que se almacenan y tratan, también se acelera. En 2017, el 80 % del tratamiento y el análisis de datos que se producía en la nube provenía de infraestructuras informáticas centralizadas, y el 20 % en aparatos inteligentes conectados, como automóviles, utensilios domésticos o robots de fabricación, e instalaciones informáticas cercanas al usuario (denominada

---

<sup>42</sup> blob:<https://catalogo.iram.org.ar/ea8058ed-edd2-49cc-8767-196ac3509ef2>

<sup>43</sup> Banco Mundial, 2019

<sup>44</sup> <https://datos.gob.ar/>

<sup>45</sup> IDC, 2019

«computación en el borde»). Está previsto que para 2025 este escenario cambie significativamente.<sup>46</sup>

El tratamiento de los datos, el modo en el que se diseñan las aplicaciones y la intervención humana, resultan factores claves. Como se señaló en este trabajo, pueden afectar a derechos de libertad de expresión, protección de los datos personales, privacidad y libertad política, entre otros.

ALC no desconoce esta realidad, hay un consenso bastante generalizado de la necesidad de una estrategia regional y nacional de gobernanza de datos para que la región disponga de un marco propio frente a una creciente economía de datos.<sup>47</sup>

Sumado a la problemática inherente a los datos, la carencia de explicabilidad asociada a los modelos de redes neuronales artificiales, especialmente las más actuales de arquitecturas avanzadas y basadas en el aprendizaje profundo, ocasiona nuevas formas de problemas éticos al campo del Derecho.

Otro aspecto de reflexión necesaria es el entramado de interacciones entre la IA y los derechos de propiedad intelectual, desde la perspectiva de las oficinas de propiedad intelectual, de los usuarios y de otros actores involucrados, con el fin de fomentar la innovación y la seguridad jurídica de forma equilibrada.

Muchos otros asuntos se ponen en juego a partir de la creciente presencia de los sistemas de IA en las prácticas cotidianas.

Un enfoque desde los principios y valores éticos necesariamente remite a los distintos contextos sociales y culturales en los que se diseña, desarrolla y despliega la IA.

El potencial transformador de la IA alienta a trabajar por su creciente adopción responsable. Como lo señala el estudio del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) en materia de servicios públicos como la salud, la educación, la justicia, la tributación o la gestión de residuos, para América Latina. O el informe “Experiencia: datos e inteligencia artificial en el sector público” que recoge las observaciones de avances en la región y advierte que la adopción responsable de la IA podría implicar un salto cualitativo en beneficio de la ciudadanía toda. Ambos, ya citados en este trabajo.

Las contribuciones de los organismos internacionales como los hallazgos a partir de las experiencias de otras regiones y naciones constituyen referencias clave. En base a ellas es posible organizarse para construir el ecosistema nacional de la IA que le posibilite a Argentina aprovechar esta tecnología en beneficio del bien común, como se ha expresado.

Muchas son las oportunidades disponibles, evidentes o inmanentes, en el contexto actual.

La contribución de la UNESCO es innovadora e integradora en varios sentidos: el tratamiento de la propiedad intelectual, la cooperación multilateral, el enfoque para la cultura, no menos disruptivo el de la educación e investigación, la recomendación de gobernanzas blandas nacionales y regionales, la recomendación de solidaridad internacional en el ámbito de la salud, la propuesta de creación del patrimonio digital común de las naciones y de alentar al sector privado a que facilite el acceso a sus datos a la comunidad científica, las alternativas que sugiere para la reconversión laboral protegida, la participación de los grandes capitales concentrados en la mesa de construcción de estos marcos éticos y regulatorios de la IA, las plataformas de cooperación internacional, los incentivos propuestos para los sistemas de IA que favorezcan a la mejora del medio ambiente y los ecosistemas, el intercambio entre países más y menos avanzados

---

<sup>46</sup> Gartner, 2017

<sup>47</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=1MbdA9G4jiY&t=2s>. Los Datos y la IA. CETyS

tecnológicamente, el modelo de gobernanza y colaboración adaptativas de múltiples partes interesadas.

Este sucinto listado, es sólo a los fines de resaltar los hallazgos más disruptivos que resultan reunidos en un único documento consensuado.

Por último, sus cuatro valores dan luz a un escenario en donde es posible pensar sociedades más humanas. Y, desde ellos se organiza el documento completo con sus recomendaciones.

Este marco ético se ofrece organizado y contextualizado con las intenciones y acciones de distintos actores nacionales y regionales en el mundo.

No obstante, el cambio actitudinal requerido a las sociedades para comprometerse con esta perspectiva parece ser un desafío aún mayor que el asociado a los aspectos tecnológicos de los grandes avances de la IA.

Las sociedades se muestran reticentes.

A lo largo de su historia, el hombre ha sido protagonista de revoluciones industriales cada vez más aceleradas y de impacto creciente sobre sus formas de vida.

Andrew Ng y otros referentes internacionales, han comparado la revolución de la IA con la de la electricidad.

Sin embargo, hay características específicas de la AI que le confieren especial singularidad. Por ejemplo, la de automatizar procesos mentales. La primera máquina conocida que desarrolló soluciones de este tipo es La Pascalina, creada por Pascal en 1642.

El ser humano ha recibido con entusiasmo los desarrollos tecnológicos que automatizan procesos mecánicos, valorando que, en general, le facilitan el trabajo o le proveen mayor confortabilidad a su forma de vida.

Las automatizaciones de procesos mentales no corren la misma suerte, parecen despertar incertidumbre y temor en los seres humanos. Aún más, para los ciudadanos de Occidente en general.

Se asocian a lo etéreo, lo espiritual, ámbitos en los que el conocimiento científico está inmiscuyéndose recién desde el siglo pasado.

Heidegger hablaba de la aceleración de la tecnificación, de las nuevas formas de arraigo a partir de estos aparatos técnicos y autómatas que emergen como nuevas existencias inmanentes.

En esa misma línea, Srniceck, Williams, Bratton, Terranova, Morton, entre otros, constituyen el movimiento aceleracionista que emerge a inicios de la década pasada y plantean el redireccionamiento de la fuerza productiva.

Conforman un bloque no homogéneo que rescata, desde otro enfoque, las consideraciones de Heidegger.

Aluden a la necesidad de apropiarse de la nueva forma de capitalismo, el informático, el de los datos y las comunicaciones, de estas tecnologías disruptivas. Liberar las fuerzas productivas latentes.

Protegiendo al identitario regional, promoviendo la soberanía tecnológica, respetando las heterogeneidades culturales, fomentando la capacitación en disciplinas CTIM (o STEM), mitigando la brecha digital, para jugar al mismo juego del ganador en su propio campo. Apropiarse de la tecnología para atravesar los conflictos sociales.

Terranova, focalizándose en el excedente del capital informático, ejemplifica el sinnúmero de situaciones en las que, las personas convencidas de estar usando estas

tecnologías para facilitar el trabajo o con fines de esparcimiento. En realidad, están trabajando para que los grandes poderes transnacionales concentrados obtengan, sin retribución alguna, uno de los recursos más preciados de la actualidad: datos.

Así, las estructuras de poder se desplazan desde el Capitalismo Industrial hacia el Capitalismo Informático, con una nueva forma de supremacía que excede a la lógica del Estado nación.

Muchos son los debates necesarios para construir este marco ético y regulatorio, muchos los desafíos y los consensos necesarios.

Es posible abrir el debate en materia de trabajo, por ejemplo, problemática acuciante en este contexto de Nueva normalidad y de tecnologías disruptivas emergentes.

En el reciente Congreso Futuro de enero de 2022,<sup>48</sup> Srniceck en su exposición plantea cuatro acciones requeridas en ese sentido: la automatización total o completa para erradicar los trabajos tediosos, sucios y peligrosos (3D), la reducción de la jornada laboral a cuatro días –como ya lo vienen haciendo algunas sociedades en el mundo–, el ingreso básico universal para todas las personas solo para tener una vida digna y “el fin de la ética del trabajo”.

Esto último implica apartarse de la lógica del sistema capitalista y dejar de asociar necesariamente al trabajo con el ingreso requerido para una subsistencia digna.

Parece difícil, pero en realidad la dificultad más importante no es la evidente, sino la inmanente. La de comprometerse a reinventar una lógica productiva y otra de distribución de los ingresos, no necesariamente tan condicionadas entre sí.

El cambio es posible, pero tal vez sea más fácil esperar que las nuevas tecnologías nos sigan sorprendiendo con su magia que pretender que el ser humano se ocupe del bien común en desmedro de su codicia y su poder.

Esta Nueva normalidad, lejos de convertirnos en solidarios, ha contribuido a concentrar aún más los poderes y empobrecer aún más a los vulnerables.

Alimenta las brechas de desigualdades y pone en evidencia las grandes miserias de la humanidad de codicia y poder.<sup>49</sup>

Los enfrentamientos son intestinos, dan cuenta de la incapacidad del ser humano de salirse de esta lógica, predominantemente de Occidente, de Capitalismo salvaje, que nada conoce de solidaridad, es huérfana de empatía y de conmiseración.<sup>50</sup>

Sin embargo, las nuevas generaciones, a los que se les encomienda el difícil rol de dar continuidad a estas estructuras sociales y tecnológicas en permanente adaptación, serán las responsables de jugar a este juego en el que la IA ha venido para quedarse y contribuir a que las sociedades sean cada vez más humanas.

En ellos, en los jóvenes reside la esperanza. La oportunidad está a sus manos, a través de la educación, el infrapoder más estructural.<sup>51</sup> Sólo con educación, con aprendizaje, será posible el cambio.

Esta Nueva normalidad es testigo de cambios culturales históricos. Las luchas contra las desigualdades de género y de otras formas de discriminación y violencia, la creciente valorización del medio ambiente y los ecosistemas, el respeto por las identidades locales, la importancia que van adquiriendo las denominadas competencias blandas en el ámbito

---

<sup>48</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=XwuxsKw7YJs>

<sup>49</sup> Ricoeur P., 2008

<sup>50</sup> Hartmann M. y Honneth A., 2009

<sup>51</sup> Giddens, 1998

laboral, los equipos colaborativos y multidisciplinares, el pensamiento crítico, la empatía, la actitud reflexiva, entre otros. Constituyen elementos de un nuevo entramado social que atraviesa muchas culturas, en las cuales ya se advierte como posibles, sociedades más humanas.

### **Bibliografía**

- Bratton, Benjamin: *The Stack: On Software and Sovereignty*, The MIT Press, 2015.
- Cabrol, Gonzalez, Pombo, Sanchez, *Adopción ética y respónsale de la Inteligencia Artificial en América Latina y El Caribe*, fairLAC – BID, 2020
- CAF, *Experiencia: Datos e Inteligencia Artificial en el sector público*, Caracas, CAF, 2021.  
Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1793>
- Colcelli, V., & Burzagli, L., “Elementos para una cultura europea de desarrollo de herramientas de inteligencia artificial: el libro blanco sobre la inteligencia artificial y las directrices éticas para una IA fiable”, Revista *Justicia & Derecho*, n<sup>o</sup> 4(2), 2021, pp 1-12.
- Comisión Europea, *Directrices para una IA fiable*, 2019.
- Comisión Europea, *Libro blanco sobre la inteligencia artificial: Un enfoque europeo orientado a la excelencia y la confianza*, Bruselas, 2020.
- Fjeld, J., Nele Achten, Hannah Hilligoss, Adam Nagy, and Madhulika Srikumar., "Principled Artificial Intelligence: Mapping Consensus in Ethical and Rights-based Approaches to Principles for AI.", en *Berkman Klein Center for Internet & Society*, Harvard, 2020.
- Giddens, A., “Política generativa y bienestar positivo”, en *Más allá de la izquierda y la derecha*, Cátedra: Madrid, 1998.
- Hartmann, M., Honneth, A., “Paradojas del Capitalismo” en *Crítica del agravio moral. Patologías de la sociedad contemporánea*, Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica, 2009.
- IEEE, *Diseño éticamente alineado IEEE*, USA, 2019.
- Morton, Timothy. *HIPEROBJETOS- Filosofía y Ecología después del fin del mundo*. Adriana Hidalgo Editora, 2018.
- OCDE, “Recomendación del Consejo de la OCDE sobre Inteligencia Artificial”, (OECD/LEGAL/0449), 2019.
- Presidencia de la nación, *ArgenIA Plan Nacional de Inteligencia Artificial*, Argentina, 2019.
- Quintanilla M., Parselis M., Sandrone D. *Tecnologías entrañables: ¿es posible un modelo alternativo de desarrollo tecnológico?*, Madrid. Editorial Catarata/OED, 2017.
- Ricoeur, P, “Autonomía y Vulnerabilidad” en Ricoeur, Paul, *Lo Justo 2. Estudios, lecturas y ejercicios de ética aplicada*. Madrid, Editorial Trotta, 2008, pp 70 a 86.
- Srnicek, Nick; Williams Alex: *Inventar el futuro: Postcapitalismo y un mundo sin trabajo*. Editorial Malpaso, Barcelona- Méjico-Buenos Aires- Nueva York. 2017.
- UNESCO, “Recomendación sobre la ética de la Inteligencia Artificial”, *Conferencia General 41 st*, 2021

## Introducción

Las ciencias son una producción legítima humana con una historia compleja que toca por momentos la magia y la religión. La política, la economía y la sociedad misma se ven atravesadas por su influencia, lo que provoca que la filosofía, la sociología, la ética, la política, y el periodismo abran ramas de estudio para focalizarse en su tratamiento y estudio.

Siendo un factor de cambio histórico, su relación estrecha con la sociedad no deja en claro qué tanta influencia en ella y hasta dónde es influenciada su conformación y cambio. Las innovaciones pueden crear una taxonomía completa de reacciones diversas en localización geográfica e intensidad. Muchas veces el foco reactivo no se centra en la ciencia por sí misma sino en los efectos que esta produce sobre:

- las funciones de la vida (como puede ser la alteración de fuentes de energía, la administración de la información, de los alimentos o de la salud entre otros)
- las manifestaciones (alteraciones en los ecosistemas, los impactantes grados de automatización y potenciales de control, en las economías regionales, etc.)
- los riesgos (a la integridad física, a las libertades individuales, etc.)

Si bien los avances en las TI pueden ocasionar reacciones, no hay que olvidar que parte de la sociedad moderna se concibe solo con su intermediación. De hecho, la socialización actual está intensamente mediada por las TI, así como otros órdenes del ser en la sociedad y en la naturaleza. Por ello no es sencilla la tarea de los sociólogos de la ciencia en su estudio de los mecanismos de apropiación de la misma. Por caso, la controversia en la planta de materiales LAMP en Australia [01], bien explicado por Hua Law: Produce gran cantidad de los óxidos raros empleados en la tecnología moderna que consumimos diariamente, pero también genera residuos radioactivos en una cantidad ingente que ha sido debate internacional con Malasia, que terminó negándose a seguir recibiendo a causa de los daños en su ecosistema.

La ciencia avanza y los miembros de la sociedad no pueden menos que sentir lo que Beck denomina “La sociedad del riesgo” [02], cambia y muta arrastrando también al individuo en ese proceso. Esta metamorfosis es lo que los filósofos llaman proceso de individuación: la razón de ser singular de cada persona. Desde Aristóteles los filósofos ocupan de este “principio” y de los problemas que plantea. Y no es algo trivial puesto que se relaciona con la cuestión de qué es lo que hace que algo sea un individuo. Pero para comprender la afectación del proceso de interacción hombre-tecnología hay que remitir a pensadores modernos. Entre ellos tal vez uno de los más relevantes sea la perspectiva de Gilbert Simondon en que la individuación no pivotea sobre lo humano. Como refiere el investigador Pablo Rodríguez en su editorial sobre la obra de este filósofo [03], existe en las personas una percepción del *individuo* como el *sujeto*, a quien se relaciona inmediatamente con el *hombre*, pero existen gradaciones que van desde el mundo físico hasta el mundo psíquico. Citando a Rodríguez: “En el mundo físico, la individuación ocurre pocas veces, puesto que “la materia adquiere una forma y permanece allí, como en el caso del cristal. En el mundo

vivo la materia ya tiene una dinámica interna que la hace individuarse de manera constante; aparece la noción de interioridad”.

Permaneciendo en la concepción de Simondón, existe una manera de definir los entes artificiales que constituyen las tecnologías, aquellos que son creados por el hombre, y que (a diferencia de los entes naturales) requieren del humano para mantener su existencia. En este punto es donde la disruptiva inteligencia artificial cambia la relación de dependencia introduciendo una incipiente pero sostenida autonomía de los sistemas técnicos. En los sesenta algo así era impensable, una utopía, a tal punto que ciertas tecnologías de sistemas inteligentes fueron visiblemente denostadas y aplacadas durante más de una década. La mera posibilidad del predominio de la técnica sobre lo natural era lo que consideraba una sensiblería, una cuestión de prejuicios humanistas, puesto que consideraban al hombre constantemente en dominio y control perfecto de sus creaciones artificiales. Si se profundiza un poco se hace evidente que estos artefactos no tienen objetivo de desplazar al hombre sino de aliviar ciertas actividades (por ejemplo, con la siembra con máquinas en vez del arado tirado por bueyes) o bien evidenciar la potencialidad de la creatividad humana.

Para Simondón la cibernética inicia una etapa en la filosofía de la técnica donde el hombre comienza a plasmar elementos íntimos como la conciencia, la percepción, y los efectos internos de la acción. Pero no se debe olvidar que en esa misma intimidad humana (igual que en otros seres vivos) yace una relación única entre lo actual y lo virtual, un lazo esencial imposible de igualar, aunque se pueda imitar exteriormente. No existe posibilidad de una máquina pueda construir ese lazo puesto que su ser (su existencia y su accionar) existe solo en lo actual (lo que sucede). En otras palabras, no puede desplazar al humano en sus capacidades completas sobre el presente y futuro. Esto hace que lo humano salga indemne de potenciales peligros, que los temores de perder ese lugar único dependan del propio humano, cuando cede voluntaria o involuntariamente ese espacio. Para el filósofo eso sucede si no se prepara adecuadamente para interactuar con los elementos técnicos que le rodean.

Por eso, como afirman algunos estudiosos, debe existir un cambio de perspectiva (ya no centrada en individuos ya constituidos) hacia los procesos de individuación, y con ello se asegura la posibilidad de acoplar perfectamente al individuo con los avances tecnológicos. En un estudio filosófico realizado por Penas López [04] el proceso se concibe además desde la individuación biológica como una ralentización de la individuación física, como una vía apropiada para superar la división ontológica entre materia y vida. La noción de metaestabilidad lograda con esta definición se complementan con el concepto de una autoorganización de la materia presente en la termodinámica del no-equilibrio. Allí inserta la metafísica de Simondón.

El delicado equilibrio hombre-tecnología, aparece maravillosamente figurado en el célebre ensayo *Tesis sobre la filosofía de la historia* [05], donde Walter Benjamin escribe una metáfora del progreso inspirado en un cuadro realizado por el pintor suizo Paul Klee:

*Hay un cuadro de Klee que se llama Angelus Novus<sup>1</sup>. En él se muestra a un ángel que parece a punto de alejarse de algo que le tiene paralizado. Sus ojos miran fijamente, tiene la boca abierta y las alas extendidas; así es como uno se imagina al Ángel de la Historia. Su rostro está vuelto hacia el pasado. Donde nosotros percibimos una cadena de*

---

1 *Angelus Novus* (“ángel nuevo” en latín) es un dibujo realizado en tinta china, tiza y acuarela. Fue realizado en 1920 por Paul Klee. Posteriormente lo compró el filósofo alemán Walter Benjamin. Remite a una leyenda judía originaria del Talmud, en la que un “ángel nuevo”, es una criatura celestial creada para servir y renovar un cántico eterno ante Dios.

*acontecimientos, él ve una catástrofe única que amontona ruina sobre ruina y la arroja a sus pies. Bien quisiera él detenerse, despertar a los muertos y recomponer lo despedazado, pero desde el Paraíso sopla un huracán que se enreda en sus alas, y que es tan fuerte que el ángel ya no puede cerrarlas. Este huracán le empuja irremisiblemente hacia el futuro, al cual da la espalda, mientras los escombros se elevan ante él hasta el cielo. Ese huracán es lo que nosotros llamamos progreso.*

Esta metáfora de Benjamin es de los años 40, y con ella pretendía simbolizar la dualidad del progreso hacia el cual camina el cuerpo de la humanidad mientras lo que denominó el *Ángel de la Historia* (el *Angelus Novus* de su pieza pictórica) tiene el rostro vuelto hacia el pasado. El ángel desea restaurar ese ayer, ahora en ruinas, pero una fuerza irrefrenable (el huracán, el progreso empujado por la ciencia y la tecnología) lo arrastra hacia adelante. La tempestad viene del Paraíso (la utopía del mundo perfecto) y su fuerza la impide negarse a avanzar, pues el ángel ya no puede plegar sus alas.



**Angelus Novus. Wikimedia Commons [06]**

Ese buscado futuro no es más que una utopía, un milenarismo sueño humano del retorno a un Paraíso o de instauración de un cielo en la Tierra. Pero dicho sueño no llega, pues como afirma Z. Bauman [07], la felicidad humana se relaciona con un topos<sup>2</sup> que la sociedad individualiza, privatiza y personaliza al punto de ser negado en el devenir del avance (el mismo que en vano trata de negar). De esta manera hay un primer rechazo,

---

<sup>2</sup> Topos (del griego τόπος, "lugar", de τόπος κοινός, "lugar común") según la definición filosófica refiere, a un método normalizado de construir o tratar un tema o argumento para que el orador pueda ganar el apoyo de su audiencia.

seguido de una resurrección de ese antiguo topos, convirtiéndose en lo que denomina “retrotopías”. En palabras del autor:

*“Podrían definirse como mundos ideales ubicados en un pasado perdido/robado/abandonado que, aun así, se ha resistido a morir, y no en ese futuro todavía por nacer (y, por lo tanto, inexistente) al que estaba ligada la utopía dos grados de negación antes”.*

En ese sentido, la humanidad experimenta una revolución del pensamiento que la mueve de topos, la coloca en una realidad científico-tecnológica muy compleja. La disrupción del topos exige la resolución de problemas no solo de carácter tecnológico sino también ético, sociológico y filosófico.

Si bien el quiebre es notorio en las dos últimas décadas debido a su acelerada metamorfosis, un hito esencial se halla en los años 60, cuando surgen sistemas inteligentes inspirados en el hombre. Así, por primera vez, desarrolla tecnologías que no responden a elementos lógico-deductivos tradicionales. Esta ciencia transversal crece y cambia permanentemente, ubicando su eje en la inteligencia como una estrategia global de resolución no procedural, un conjunto extenso de algorítmicas y heurísticas inspirados ya no solo en el hombre sino en todas las expresiones de la naturaleza.

La denominación “*Tecnologías Inteligentes*” permite englobar de manera genérica dichos conceptos, sin importar que incluya o no ordenadores tradicionales. Los nuevos sistemas cruzan otras áreas del conocimiento que se nutren así de la aplicación de sistemas *bio-inspirados* o *Computacionalmente Inteligentes*<sup>3</sup>.

### **Las ciencias de la inteligencia**

Entender lo que es la inteligencia ha llevado muchos siglos. A tal punto es así, que aún la definición de trabajo basada en el desafío que el matemático Alan Turing se vuelve obsoleta<sup>4</sup>. Entre los años 40 y los 60 no cabía mucha duda acerca de que el paradigma a seguir era una imitación acabada de la razón humana, sea lo que fuera. Fueron los inicios de la que culminaría constituyendo el *Inteligencia Artificial fuerte (Strong AI)*, propuesta por John Searle de la Universidad de California y donde se imaginaban máquinas que piensan y comportan como humanos, lo que llamaban un *resolvedor universal de problemas*. El optimismo inicial, ayudado por expectativas excesivas cubrió con tierra de fracasos, desprecios y olvido al sector hasta que sus usos se volvieron más realistas durante la época del *IA de aplicación (Applied AI)*. Con el tiempo se volvieron soluciones económicamente rentables. A la vez la tecnología avanzaba y lograba dar cuenta de una prospectiva de evolución impensada con los nuevos paradigmas de *Aprendizaje Automático (Machine Learning)* que hoy facilitan la *Minería de Datos (Data Mining)*, *Aprendizaje profundo (Deep Learning)*, *Análisis de sentimiento (Sentiment Analysis)*, etc.

Pero los científicos de posguerra no fueron los primeros en intentar imitar las habilidades propias de la inteligencia humana. El mágico devenir de los pensamientos inspiró en la antigüedad al filósofo griego Aristóteles al escribir en el siglo IV a. C. un conjunto de trabajos tradicionalmente compilados como *Órganon* [08]. Dicha obra es considerada como la primera investigación sistemática sobre los principios del

---

3 Se toma la definición de Inteligencia Computacional siguiendo los lineamientos de IEEE CIS, que incluye todas las áreas tradicionales e innovadoras actualmente reconocidas inspiradas directa o indirectamente con la inteligencia biológica o natural en cualquiera de sus aspectos.

4 Alan Turing propone un desafío en los años 50 por el que un jurado debe descubrir a través de preguntas en un teletipo, si del otro lado hay un humano o un sistema artificial digital. Si no logra discriminarlos, entonces el sistema es inteligente.

razonamiento válido o correcto. Podría decirse que fue un intento de modelar del razonamiento, un estilo inicial de lo que se pretende hoy en día con las modernas técnicas del *Aprendizaje Automático*.

Indagando un poco más, no es difícil hallar antecedentes previos de la imitación artificial de las habilidades humanas: Homero en la *Iliada* [03]. Si bien la fecha de su composición es controvertida se la suele situar en la segunda mitad del siglo VIII a. C. El autor introduce dos sirvientas fabricadas en oro por el dios Hefestos que “*iban bien raudas moviéndose al servicio de su dueño y señor, parecidas a muchachas con vida*”. Estos humanoides le ayudarán a fabricar unas armas especiales para el héroe guerrero de Troya Aquiles, por pedido de su madre la ninfa Tetis. Es interesante que los versos son pocos, pero refieren a habilidades que recientemente se están considerando imitar: “*Tienen ellas sentido en sus entrañas y, asimismo, tienen fuerza y voz y [...] son duchas en artísticas labores*”.

Por qué no recordar también los soldados robotizados de la antigua muralla china (siglo V a. C.), fabricados con simples sistemas de relojería soportados por maderas y vestidos para dar la impresión de ser personas que iban y venían sin descanso durante sus guardias. También cuentan entre los diversos intentos primigenios de inteligencia una clepsidra (reloj de agua) en el Templo de Amón en Karnak, datado en el siglo XIV a. C., sin olvidar que ya en el año 1530 a. C. se construyó para el rey Amenhotep I en Egipto una vasija con características de reloj de agua.

Las computadoras y el razonamiento matemático también fueron foco del interés ancestral. Desde el famoso mecanismo Antikiteras (aproximadamente del siglo I a. C), pasando por todo tipo de calculadores y ábacos. De hecho, el ábaco emergió hace unos 5000 años en Asia Menor (se asegura que pudo haber sido primero en China, desde donde fue llevado a Mesopotamia por comerciantes) y aún se emplean en la actualidad. Le siguen otros muchos ábacos y dispositivos que imitaban el cálculo o razonamientos relacionados con los cálculos, como el Suanpan chino (aproximadamente hacia el 1500), la Pascalina (1642), el aritmómetro de Odhner (1892), y una vasta lista de otras máquinas.

### **Los alcances y objetivos involucrados**

Es sabida la naturaleza transversal de los sistemas inteligentes. Día a día se los aplica a nuevas áreas del conocimiento, y con ello adquieren más incumbencias. La inmediata consecuencia de ello es que cualquier intento de exhaustividad en su catalogación y determinación de alcance está condenado a la obsolescencia mediata. No obstante, es posible listar sus principales áreas de estudio y una referencia a sus atribuciones (el detalle es ilustrativo, no exhaustivo). Las mismas son variantes de extrapolación o mímica de diferentes tipos y concepciones de inteligencia presentes en la naturaleza, sus principios y características peculiares. De hecho, muchos no dudan en llamarles sistemas bio-inspirados, haciendo la distinción en la concepción por imitación, aunque no destacan su calidad de herramientas al servicio del humano. De manera no excluyente, las temáticas involucradas pueden englobarse siguiendo los apartados que restan de esta sección.

#### ***A. Algoritmos y Teorías en Inteligencia Computacional***

La complejidad del término inteligencia impone la incorporación de conocimientos de áreas tradicionales. Así se introduce el concepto de heurísticos: algoritmos que básicamente manejan procesos con formulaciones menos precisas. Pierden certeza para

ganar potencia inferencial. Así, se suscribe el estudio de las bases científicas que dan origen a las tecnologías en Inteligencia Inteligencia Computacional (IC) por medio de la definición de medidas de credibilidad del resultado. Las matemáticas, física, química, psicología, biología, etc., dan sus aportes para generar tecnologías como la *Computación cuántica*, *Sistemas de soportes de decisiones*, *Sistemas expertos*, *Algoritmos genéticos*, *Redes neuronales*, *Lógica difusa*, etc. Estos estudios a veces son modelos que no resultan aplicables a problemas de campo en la industria, pero ayudan a comprender fenómenos complejos. En parte eso sucedió con las neuronas biológicas y sus rudimentarias contrapartes artificiales. Hoy en día, se cuentan con plataformas y librerías de programación que insertan verdaderos laboratorios virtuales que facilitan el uso y estudio más detallado de los sistemas de aprendizaje y razonamiento. Es importante destacar nuevamente, que las mismas cuentan con soportes en cuanto a métricas (medidas numéricas concretas) e indicadores (criterios de evaluación de esas medidas), que dan cuenta de la confiabilidad y reproducibilidad de los hallazgos, ya que lamentablemente las estadísticas tradicionales no son suficiente para evaluar las bondades del funcionamiento de estos algoritmos.

### ***B. Sistemas robotizados y sus extensiones***

Si bien surgen para la realización sistemática de ciertas industrias automotrices, han evolucionado de manera bastante diversa. En robótica, es frecuente pensar el diseño, construcción y uso de máquinas para realizar tareas tradicionalmente realizadas por seres humanos. Los robots se utilizan ampliamente hoy en muchas industrias para realizar tareas simples y repetitivas y en industrias en las que el trabajo debe realizarse en entornos peligrosos para los seres humanos. Muchos aspectos de la robótica involucran inteligencia artificial. Los robots pueden estar equipados con el equivalente a los sentidos humanos, como la visión, el tacto y la capacidad de detectar la temperatura. Algunos incluso son capaces de tomar decisiones simples. Parte de la investigación robótica actual se concentra en diseñar robots con un grado de autosuficiencia que permitan la movilidad y la toma de decisiones en un entorno no estructurado. Debe aclararse que los robots industriales actuales no buscan asemejarse en fisonomía a los seres humanos. Un robot en forma humana se llama androide y se definen más para fines sociales tales como acompañamiento e interacción sensible.

Hoy en día estos sistemas pueden comprender verdaderos sistemas híbridos robotizados. Además de los *Robots de software* (comúnmente denominados *Asistentes virtuales* o *chat-bots*), *Robots de hardware* (entre ellos los tradicionales y los nuevos robots blandos o *soft-robots*), *Cyborgs*, *Biónica*, *Cibernética*, *Mecatrónica* y sus implicaciones, *Interfases hombre-máquina* (implantes, asistentes virtuales, etc), entre otros. Muchas veces estos sectores infiltran comportamientos inteligentes directamente en materiales. Así en los 70 se comenzó a ver una serie de investigaciones sobre materiales que pudieran realizar procesos en paralelo y albergar redes neuronales artificiales. Al día de hoy se realizan avances con telas inteligentes y materiales que aprenden formas, los que están siendo intensamente verificados en su capacidad para la robótica blanda.

### ***C. Sistemas de manejo de información***

La investigación y desarrollo en procesos de fabricación han generado y luego seguido varias tecnologías. Entre ellas la inteligencia artificial, la gestión de bases de datos y los sistemas de información (SI). Los Sistemas de Información Inteligente (IIS) representan

un estadio en la evolución del conocimiento. Han emergido como mezcla de tecnología moderna, procesamiento de datos y distribución en múltiples entornos computacionales.

Las máquinas tradicionales están perfectamente programadas para adecuarse a un tipo fijo de entorno, a fin de proporcionar resultados esperados luego de procesar ciertos datos en particular y de una manera determinada. La información resultante depende perfectamente de esos datos, que corresponden a situaciones para las que la máquina fue programada y, como resultado, muestra poca o ninguna inteligencia. De los sistemas de información inteligentes se aspira a que funcionen como un cerebro humano ante determinados contextos específicos, con circunstancias más cambiantes que antes, a fin de disponer de una herramienta que reaccione de manera óptima (lo que se denomina toma de decisiones). Para ello debe ser capaz de adaptarse y cambiar su estado interno en función a los datos, manejando la información alimentada con el menor costo y esfuerzo.

Los sistemas de manejo de información recaen en la administración tradicional de datos y la insertan en nuevos paradigmas inteligentes para conseguir resultados superiores a través de la sinergia de ambos mundos. Entre otros se reconocen en este sector a la *Minería de Datos (Data Mining)*, *Aprendizaje en grandes datos (Deep learning)*, *Dispositivos inteligentes (Smart Devices)*, *Sistemas y procesamiento en paralelo*, *Tecnologías de Almacenamientos* (distribuidos, en la nube, virtuales, y otros), tecnologías en dispositivos móviles, sistemas inteligentes de recuperación y tratamiento de información en la WEB, etc. De todas las áreas de este apartado, este sea tal vez uno de los más prometedores en la nueva era de la Industria 4.0, apalancado por el Internet de las cosas (Internet of things) y la automatización extensiva. El hombre, y sus acciones, se convierten en foco de escrutinio para las ventas, la salud, la seguridad y diversas áreas de realización de su ser en el mundo. Por ello las tablas relacionales ceden su paso, pero no se olvidan. Más bien se complementan y extienden sus conceptos con XML, hipercubos y conceptos más sofisticados como metadatos (datos que expresan información sobre los datos), conformaciones de almacenamientos complementarios a las necesidades de información de las organizaciones (como Data Marts) y manejos más automatizados de datos no estructurados.

#### ***D. Ciberseguridad y Ciberdefensa***

La ciberseguridad o seguridad tecnológica es el conjunto de técnicas para proteger computadoras, redes, programas y datos del acceso no autorizado o ataques que tienen como objetivo la explotación. Las principales áreas cubiertas suelen ser: aplicaciones, información, resguardo ante desastres naturales, y en redes. La seguridad de las aplicaciones abarca las medidas o contramedidas que se toman durante el ciclo de vida del desarrollo para proteger las aplicaciones de las amenazas que pueden surgir a través de fallas en el diseño, desarrollo, implementación, actualización o mantenimiento de la aplicación. Algunas técnicas básicas son la validación de parámetros de entrada, la autenticación y autorización de usuarios o roles, la gestión de sesiones y cuestiones como auditorías y registros de actividades. La ciberdefensa en cambio atiende ya a mecanismos concretos, respuestas a acciones y realización de esquemas de protección.

A partir de algoritmos matemáticos completos, y técnicas como *Redes Neuronales*, es posible concebir sistemas que administren de manera selectiva y optimizada la seguridad, prevengan amenazas e incluso propongan esquemas mejorados innovadores. La *Denegación de servicios*, las estrategias de claves y el monitoreo de transacciones cubren algunas de estas actividades. Pero en este ámbito hay mucho trabajo pendiente

en cuanto las redes de datos tradicionales y las de dispositivos móviles introducen nuevos desafíos.

### ***E. Inteligencia computacional en la Sociedad***

La sociedad actual se envuelve permanente y progresivamente en cuestiones relacionadas con las TI. La inteligencia artificial ha evolucionado también en este ámbito. Hoy está transformando sociedades y economías. Promete generar ganancias de productividad, mejorar el bienestar y ayudar a abordar los desafíos globales, como el cambio climático, la escasez de recursos y las crisis de salud. Sin embargo, a medida que las aplicaciones se adoptan en todo el mundo, también generan preguntas y desafíos relacionados con los valores humanos, la equidad, la determinación humana, la privacidad, la seguridad y la responsabilidad, entre otros. Es necesario construir una comprensión compartida de las injerencias presentes y futuras, mapear el panorama técnico, económico, y políticas de uso, evaluar la coordinación y coherencia con los debates en otros foros nacionales e internacionales.

Desde ese punto de vista, es imprescindible consideraciones específicas en el Marco legal y/o regulatorio, familia, ética, responsabilidad científica y empresarial, normas sociales para las nuevas tecnologías, redes sociales y sus implicaciones, ingeniería humanitaria, Tus e inclusión, sistemas inteligentes en educación y pedagogía, iniciativas *STEM* (Science, Technology, Engineering and Mathematics) y *STEAM* (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics), y la definición de la alfabetización en vista de las TI, determinaciones del trabajo del futuro y las consecuencias de su aplicación en el individuo y la cultura, la capacitación de las personas para su recepción y administración de las TI, etc.

### ***F. Sistemas inteligentes en la ludificación***

Los juegos han mostrado tener cierta capacidad para apoyar el proceso de aprendizaje, así como la de apoyar el crecimiento humano para aplicar el conocimiento en situaciones nuevas y desconocidas. De hecho, hasta se ha postulado el empleo de la ludificación como posible herramienta para apoyar e impulsar la inteligencia artificial en su camino de desarrollo, y producir avances en las TIC. Las investigaciones permiten también trabajar en algunos desafíos clave ya identificados para el desarrollo y transformación de las industrias y la humanidad.

Si bien la ludificación se asocia al entretenimiento, la nueva generación de videojuegos contempla aplicaciones de amplia actualidad en el mundo virtualizado de la pandemia actual. Los *Juegos serios* (*Serious games*) penetran las empresas, la educación, la salud, la socialización, el arte, y sigue aportando interesantes novedades. Alrededor de los videojuegos, también se ha despegado los conceptos de *gamificación*, *transmedia* y sus aplicaciones, planificación ludificada, marketing ludificado, entre otros.

Dado el crecimiento sostenido del sector, hoy las TI encuentran espacios para generar no solo NPC<sup>5</sup> (*Non Playable Character*) inteligentes, sino también para mejorar escenarios, desafíos, sincronización de jugadores, simuladores de prueba y entrenamiento, y un sinnúmero de aplicaciones diversas que cubren innovadoras tecnologías en dispositivos como la realidad aumentada y virtual.

---

<sup>5</sup> NPC en el contexto de videojuegos es un personaje virtual independiente al jugador, personaje que complementa e interviene en la acción, pero no directamente jugable.

## *G. Sistemas administrativos inteligentes*

La tendencia a los sistemas inteligentes con tecnologías como Big Data, Smart Cities y la Internet de las Cosas revolucionan el entorno empresarial y comercial. Hay quienes consideran que también serán cimiento del futuro de las ciudades, la sostenibilidad, la sanidad, la administración pública, la seguridad, el mundo empresarial y comercial y de la mayor parte de nuestra vida cotidiana.

En estos casos, cobran importancia las telecomunicaciones (para recoger información) y la capacidad de interconexión de objetos físicos entre ellos y con los humanos, conformando una red de información: es lo que se suele conocer como Internet de las Cosas. Puede tratarse de dispositivos móviles, microondas, registros de e-commerce, sensores de todo tipo, cámaras de seguridad, reservas de pasajes, etc. La lista puede continuar incluso hasta el estado de las luces de un edificio... y todo eso es alimento para nuevas concepciones de procesos de negocio y de usuarios.

Todo se convierte en participante activo de un proceso de negocio al crear datos que entonces adquieren un increíble volumen (Big Data), cuyo análisis es altamente dificultoso, pero con un valor potencial inconmensurable. Su aprovechamiento depende mucho de las capacidades de la inteligencia de datos, que genera claras ventajas competitivas. Entre muchas otras vale enumerar: la capacidad de predecir qué consumidores necesitarán ciertos productos, optimizar la cadena de suministros, adecuar las prácticas comerciales a las características de cada potencial comprador a fin de maximizar su posibilidad de consumo, etc.

Las estrategias manuales como los comandos de mandos, ahora se generan con herramientas y en tiempo real (algo que en el medio se denomina Business Intelligence, BI). Los sistemas inteligentes están ayudando a las empresas a posicionarse más efectivamente en el mercado, se conectan con dispositivos que administran ágil y astutamente los datos para luego extraer la información precisada para cumplir con objetivos específicos de negocio, aumentar la eficiencia de los procesos de negocio y mejorar la satisfacción del cliente. Entre otras características de estos sistemas están:

- Administración automática de la identidad clientes y usuarios en contextos de Big Data
- Alta conectividad de diferentes tipos de dispositivos bajo esquemas de protección sofisticados
- Gestión de dispositivos y soluciones de forma remota según las necesidades organizacionales
- Mejoras en la experiencia de usuario en cantidad y calidad de interacción con el usuario
- Explotación de datos más allá de la información habitual y aparente, abriendo posibilidades estratégicas para la toma de decisiones y reacción al mercado en tiempo real

La introducción de esta inteligencia en los procesos de negocio revoluciona las estrategias empresariales y comerciales, engendra una integración especial con la tecnología de manera innegable.

Como una parte más de la sociedad, los sistemas administrativos han salido al encuentro de un público exigente en cuanto a tiempos de respuesta, propios de una sociedad que se siente acelerada y presionada. Los *Sistemas Administrativos Inteligentes* cubren de una manera única espacios tradicionalmente manuales y globales como la *e-gobernancia* (*e-government*), control ético de la IA, *e-comercio* (*e-commerce*), *e-*

*justicia*, firma digital, historia clínica digital. El desafío es múltiple y variado, ya que las TI pretenden dar experiencias más acogedoras por parte del usuario, y más eficiente por parte del proveedor, muchas veces recurriendo a sistemas inteligentes para aliviar tareas como centros de llamado (*call center*), centros de reclamos, asesoramiento en línea, etc.

#### ***H. Sistemas inteligentes en salud***

Los avances en los dominios de los sistemas de salud inteligentes (SHS) y la inteligencia artificial hacen evidente la necesidad de sistemas de TIC que tengan como objetivo no solo mejorar la calidad de vida humana, sino también mejorar la seguridad. Este tipo de sistemas concilian conceptos y metodologías de diversos campos, como comunicaciones y sistemas de redes, informática, ciencias de la vida y salud. Los paradigmas de salud inteligente bien conocidos son: dispositivos de monitoreo en tiempo real, dispositivos de cirugía asistida por computadora, dispositivos de telemedicina, dispositivos de atención basados en la población, medicina personalizada desde una perspectiva de aprendizaje automático, ubicuidades de computación inteligente, sistemas de soporte de decisiones de expertos, salud 2.0 e Internet de las cosas.

El amplio despliegue de tecnologías inteligentes de computación, información y redes ayudan a prevenir enfermedades, mejorar la calidad de la atención y reducir el costo general. También sirven para plantear el potencial de los paradigmas de la inteligencia computacional en el desarrollo del SHS.

El pensamiento crítico y la interoperabilidad en los *Sistemas Inteligentes de salud* son fundamentales. La nueva era empresarial y tecnológica arriban con un nombre impresionante: *Industria 4.0*, que promete impactar las raíces mismas del concepto de servicio, y con ello al de sistemas de salud. Las nuevas técnicas predictivas permiten mejorar esquemas de prevención, la salud personal y la salud pública, mejorar interdependencias de las infraestructuras críticas para agilizar gestiones e incluso dar mayor seguridad e información al sistema de gestión de salud, mejor y mayor concepto de privacidad y Seguridad de la información digital, las que por el momento compiten en riesgo con otros centros de captura de datos personales que, astutamente conjugados dejan al individuo expuesto.

Adicionalmente, las TI pueden intervenir en el procesamiento de imágenes de múltiples maneras: *Sistemas Inteligentes en Salud* versados en cuantificación de imagen médica multimodal e intervenciones asistidas por computación, sistemas de tele diagnóstico, Sistemas inteligentes de asistencia al diagnóstico, sistemas de planificación de tratamiento, sistemas de guiado de intervenciones, sistemas de entrenamiento por simulación (este puede “combinar/cruzar” con el de ludificación), *Sistemas cirujano*, y un sinnúmero de nuevas herramientas inteligentes dentro del sector.

#### ***I. Sistemas inteligentes en el arte***

El arte no es un área novedosa para las TI. Las actividades creativas como música, arquitectura, bellas artes y ciencia ya se empapan a diario con inteligencias no naturales. Incluso hay quienes consideran a la computadora como un lienzo, un pincel, un instrumento musical, un paso más hacia la creatividad. En lugar de simplemente ver la computadora como una herramienta para ayudar a los creadores humanos, se la puede considerar como una entidad creativa. Esta visión ha desencadenado un nuevo subcampo de la Inteligencia Artificial llamado Creatividad Computacional: la posibilidad de lograrla se basa en el concepto de emplear programas informáticos capaces de replicar

aspectos del comportamiento artístico creativo humano. Abre también la disputa sobre la tendencia reciente de democratización de la creatividad mediante la asistencia y el aumento de la creatividad humana por estos medios no naturales. La Creatividad Computacional es el estudio de la construcción de software que exhibe un comportamiento que se consideraría invención en humanos. Este software se puede utilizar para tareas de concepciones autónomas (inventar teorías matemáticas, escribir poemas, pintar imágenes, componer música o generar nuevos guiones de filmes). Sin embargo, los estudios de Creatividad Computacional también permiten comprender la creatividad humana y producir programas para que los utilicen personas en estos procesos de generar cosas originales, donde el software actúa como un colaborador creativo en lugar de una mera herramienta.

Además de músicos, escritores, y pintores, las TIs son capaces de crear un arte híbrido que aplica nuevas tecnologías, y de las que algunos emergentes ponen en dilema la cuestión de los derechos de autor y el concepto de pieza única e irremplazable que solían tener las obras clásicas. Por caso los *NFT*<sup>6</sup> donde existe un extenso mercado digital de obras de arte y una inserción especial para los sistemas inteligentes que pueden proveer seguridad, análisis de sentimientos, entre otras aplicaciones. Hoy se convierten en piezas únicas en un mundo poco regulado, y altamente especulativo donde el concepto de valor artístico es complejo y controvertido. Pero los sistemas avanzan en el cine también desde el tratamiento de la imagen, la generación de personajes virtuales, mejora de escenas y escenarios con realidades virtuales, técnicas gráficas especiales y otros. No es menos destacable otras acciones como las de restauración de material fotográfico, y el apoyo en la restauración de piezas con tecnologías 3D.

### ***J. Sistemas inteligentes en la industria***

La Industria ha pasado históricamente por muchos cambios fundamentales, y las TI es uno de ellos. Por mencionar algunos: los transportes inteligentes, materiales inteligentes, cultivos de precisión, sistemas de auto-sustentación y ecología, edificios inteligentes, sistemas de redistribución automática de potencia, sistemas de procesamiento de señales, sistemas de control automático, sistemas de diseño automático, sistemas de mercadeo, etc. Algunos de estos sistemas y muchos otros, se establecen en la actualidad como verdaderas herramientas, haciendo que las actividades rutinarias del humano pierdan espacio en favor de estos nuevos artefactos artificiales. Por supuesto que este desplazamiento progresivo e irreversible generan cuestiones de índole social y ética y replantea, como se explicó en la introducción, la posición del individuo como engranaje industrial.

### ***J. Sistemas inteligentes en las comunicaciones***

Las comunicaciones inteligentes son el ámbito de aplicación típico de la inteligencia artificial a la tecnología de las telecomunicaciones. Comprende y solapa algunas de las áreas ya mencionadas desde la perspectiva específica. Por ejemplo, la creación de interfaces amigables para los humanos para servicios de telecomunicaciones, donde surgen conceptos como Tele-sensado y la Hiper-Realidad, visión por computadora y las telecomunicaciones basadas en el espacio de estados. En la investigación de la

---

6 (Non-Fungible Tokens) son activos digitales, representan algo único. Los tókenes no fungibles (no son mutuamente intercambiables). En contraste las criptomonedas son fungibles por naturaleza.

inteligencia artificial, el espacio de estados es el conjunto de todos los estados alcanzables de un problema y los posibles cursos de acción alternativos para determinar la mejor solución al problema. Entre otros tópicos puede también abarcar aspectos de tecnología de la información y de la comunicación, estructuras de la red, autopistas de la información, sistemas de comunicación inteligente, metodología de diseño para servicios de telecomunicaciones innovadores, tecnologías basadas en comunicación inteligente, y visión por computador.

Las comunicaciones y TI, son una simbiosis interesante. Desde el concepto de entropía y comunicación de información de Claude Shannon hasta los mecanismos de socialización mejorados con modelado de comunicaciones, dinámicas emergentes en la sociedad, se enriquecen mutuamente con una serie de tecnologías que permiten entre otras cosas, de hablar de celulares con sistemas inteligentes empotrados e interactuando con su entorno en tiempo real, con computación ubicua y una pretendida integración con el resto de una red (tal vez mundial) de Industria 4.0

### **Conclusiones y futuro**

Las secciones anteriores procuraron una introducción bastante efímera de las TI, sus alternativas y posibilidades. No escapará al lector perspicaz la existencia de cierta superposición en las tecnologías mencionadas y está en lo cierto. Abarcar requiere en este campo aceptar las zonas grises, las comuniones entre campos y la posibilidad de cierta crítica derivación en áreas de incerteza sobre la frontera última en cada caso. Dada la extrema dificultad de esta empresa, introduzco finalmente un listado tan global y parcial como antes de áreas de aplicación de las TI, pero que pretende guiar al lector más que establecerse como referencia.

1. Agentes inteligentes
2. Análisis de datos astronómicos
3. Análisis de variabilidad y confiabilidad humana
4. Aplicación vial automática
5. Aplicaciones de Big Data
6. Aplicaciones de negocios
7. Aplicaciones medioambientales
8. Aprendizaje basado en juegos
9. Aprendizaje de idiomas
10. Aspectos culturales y éticos en el diseño
11. Automatización de medios de transporte
12. Cajas de cálculo perimetral
13. Campo móvil interactivo
14. Capacitación en atención médica móvil
15. Ciencias de los materiales
16. Ciencias económicas
17. Colaboración humano-agente
18. Conciencia de ciberseguridad
19. Construcción y explotación de medios de transporte
20. Cuestiones de transporte ferroviario, por carretera, aéreo y marítimo
21. Datos agrícolas
22. Datos clínicos

23. Datos flotantes del coche
24. Datos móviles flotantes
25. Datos relativos a los procesos de transporte
26. Desarrollo cognitivo, conciencia, atención y percepción
27. Desarrollo curricular
28. Desarrollo de la ordenación territorial de los sistemas de transporte
29. Desarrollo empresarial y renovación social
30. Desarrollo profesional continuo
31. Detección del sistema de comunicación
32. Diseño y dictado de cursos
33. Diseño de dispositivos y aplicaciones de Internet de las cosas (IoT)
34. Diseño de interfaz
35. Diseño de Internet de las cosas (IoT)
36. Diseño de sistemas industriales inteligentes como sistemas de control híbridos
37. Diseño ecológico
38. Diseño para la accesibilidad
39. Dispositivos y aplicaciones
40. Ecología en el transporte
41. Eficiencia en la detección de defectos
42. El lenguaje natural en los sistemas de información
43. Electromovilidad
44. Elementos de los sistemas de transporte (tanto en términos de infraestructura de transporte como de flujos de tráfico)
45. Enfoque de actividad en la gestión
46. Entornos interactivos de aprendizaje colaborativo móvil
47. Entrenamiento deportivo cognitivo neuronal
48. Error de automatización
49. Error de conductor y piloto
50. Estados funcionales del cerebro
51. Estudios lingüísticos y culturales
52. Evaluación y calidad en el aprendizaje móvil
53. Evaluación, formación y fabricación de productos, sistemas y servicios
54. Extracción de conocimiento significativo de los datos subyacentes
55. Factores humanos en la ciber-seguridad
56. Futuras colaboraciones humano-robot
57. Gestión de cadenas de capas, precios, vehículos autónomos, salud, comercio electrónico y aeronáutica
58. Gestión mejorada de la energía para ahorrar costes
59. Habilidades perceptivas y cognitivas de los robots
60. Imágenes del cerebro
61. Impacto de la motivación, la ludificación y el estilo de aprendizaje en los estudiantes
62. Implementación eficiente de hardware
63. Industria 40
64. Informática de la salud
65. Ingeniería civil
66. Ingeniería cognitiva
67. Ingeniería logística y tecnología de transporte
68. Ingeniería médica

69. Inteligencia artificial en el deporte
70. Inteligencia y autonomía
71. Interacción humano-computadora en el diseño
72. Interacción humano-tecnología
73. Interfaces cerebro-computadora
74. Internet de las Cosas
75. Investigación biológica y biomédica
76. Investigación en ergonomía y métodos aplicados al diseño, desarrollo y prototipos
77. Lingüística y enseñanza de idiomas
78. Marco de interfaz natural multimodal para videojuegos
79. Mejora de los entornos educativos en su contexto
80. Mejoras del centro de datos
81. Mejore la seguridad con RSA y la nube
82. Metodologías y sistemas inteligentes para el aprendizaje mejorado por la tecnología
83. Métodos de prevención de accidentes
84. Minimizado de costos
85. Modelado cognitivo del error humano
86. Modelado de actividades de robots industriales
87. Modelado de procesos tecnológicos químicos
88. Modelado y Simulación en Ingeniería Eléctrica
89. Negocios
90. Neuro-ergonomía
91. Organización y planificación del transporte, incluido el transporte público
92. Pedagogía
93. Prevención de lesiones
94. Procesamiento de datos multimedia (imágenes y videos)
95. Procesamiento de imágenes y comunicaciones
96. Procesos de toma de decisiones
97. Psicología ocupacional
98. Realidad aumentada
99. Redes neuronales de aprendizaje competitivo: SOM, LVQ y paradigmas relacionados
100. Redes sociales inteligentes y sistemas colaborativos
101. Relaciones electrónicas formales e informales: de empresa a empresa, de igual a igual y muchos tipos de interacciones de aprendizaje colaborativo en línea
102. Rendimiento
103. Responder preguntas clave en neurociencia, filosofía de la mente e investigación cognitiva
104. Robótica cognitiva
105. Robots autónomos
106. Seguridad de información
107. Sistemas anti-colisión
108. Sistemas colaborativos móviles
109. Sistemas complejos en general
110. Sistemas cooperativos
111. Sistemas de automatización industrial
112. Sistemas de control inteligente
113. Sistemas de e-learning
114. Sistemas de información de red inteligente

115. Sistemas de información inteligente
116. Sistemas de información multimedia y de red
117. Sistemas de notificación de vehículos de emergencia
118. Sistemas de redes inteligentes
119. Sistemas de TI para el deporte
120. Sistemas de transporte inteligentes
121. Sistemas embebidos
122. Sistemas flexibles de respuesta a consultas
123. Sistemas inteligentes en la producción industrial
124. Sistemas inteligentes híbridos
125. Sistemas inteligentes para la automatización industrial
126. Técnicas experimentales mejoradas
127. Tecnologías de comunicación móvil y aprendizaje
128. Tecnologías de Internet y redes
129. Tecnologías móviles interactivas con un enfoque en el aprendizaje
130. Toma de decisiones
131. Toma de decisiones bajo información imperfecta
132. Usabilidad de la interfaz
133. Visualización de datos

Esta enumeración surge de la revisión de las temáticas consideradas en los principales congresos del sector que se realizan en el mundo. La diversidad y amplitud del listado permite afirmar que las tecnologías inteligentes se han convertido en una herramienta esencial y en una manera de encarar los desafíos de la ciencia. Es interesante resaltar que esta amplitud de tratamientos sin embargo aún hoy en día se basa en un reducido conjunto de estrategias y herramientas que debe ser ampliado y mejorado entre las que destacan:

1. Técnicas de agrupamiento
2. Aprendizaje automático
3. Aprendizaje profundo
4. Mapas autoorganizados y cuantificación de vectores de aprendizaje
5. Biología Computacional
6. Ciencia bio-informática
7. Clasificación
8. Computación evolutiva
9. Computación neuronal
10. Computación borrosa
11. Máquinas de vectores de soporte
12. Ontologías
13. Optimización de enjambres de partículas
14. Optimización inteligente
15. Procesamiento de datos
16. procesamiento de lenguaje
17. programación genética
18. Reconocimiento de patrones
19. Redes neuronales
20. Series de tiempo

Lejos de constituirse en un saber secreto reducido conjunto de peritos, involucra al ser humano en general, y le impone un cambio, una evolución que deviene de su propia obra. Esto es tanto o más revolucionario que la transformación industrial del siglo XVIII. Así como entonces se desplazan intereses económicos, cambia la prospección del individuo, el topo íntegro de la sociedad muta hacia algo que aún hoy en día no está claro. El horizonte es lejano, pero la ciencia y el hombre como parte del rico conjunto de humanos que habita y convive en este planeta debe comenzar a comprender que constituyen un todo sinérgico: uno determina al otro, lo limita y lo habilita.

Funtowickz e Hidalgo [09], hablan de la “demarcación”, un límite de conocimiento aceptado cierto y consensuado, pero este es un proceso dinámico por lo que el horizonte se corre permanentemente. Es impactante cómo las nuevas tecnologías (la ciencia inteligente del futuro) imprimen un ritmo acelerado a esta dinámica pues todo indica que seguirán creciendo y diversificándose. El hombre vive en un ámbito de mutación importante, mutando en un nuevo individuo, con otra sociedad, ética, economía, política, cultura, salud, educación, arte, y leyes. Todo el cambio le obliga a reinventarse como motor esencial de esos cambios.

## Referencias

[01] Yao-Hua L. “Radioactive waste standoff could slash High-Tech’s supply of rare elements”. [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org). 2019.

[02] Beck U. “La sociedad del riesgo” (Risikogesellschaft - Auf dem Weg in eine andere Moderne). 1986.

[03] Rodríguez P. Editorial: Gilbert Simondon. “El modo de existencia de los objetos técnicos”. Ed. Prometeo. 2007.

[04] Penas López M., Hernández Reynés J., Montebello P. “Individuación, individuo y relación en el pensamiento de Simondon”. Universitat Autònoma de Barcelona. 2005.

[05] Walter B. “Tesis sobre la historia y otros fragmentos” Edic. 1a. Itaca. ISBN 9789687943954. 2008.

[08] Aristóteles. “Tratados de lógica (Organon). Sobre la interpretación. Analíticos Primeros. Analíticos segundos”. Biblioteca clásica GREDOS. 1995.

[07] Zygmunt B. “Retrotopía”. Paidós. 2017.

[06] Wikimedia Commons. The free media repository.

<https://commons.wikimedia.org/wiki>, tomado el 8 de julio de 2021.

[09] Funtowicz S., Hidalgo C. “Apropiación social de la ciencia”. López Cerezo y Gomez González Ed. Biblioteca Nueva. 2008.

# SISTEMAS INTELIGENTES APLICADOS A EXPRESIONES ARTÍSTICAS

Fernando Furundarena

## Resumen

Los avances de la ciencia han permitido en los últimos años el desarrollo de sistemas inteligentes cuya implicancia en el mundo contemporáneo presenta aplicaciones de distinta índole. En este documento se presenta el ciclo de vida de una expresión artística desde su concepción aplicando sistemas de redes neuronales interactuando con el artista, hasta su inmersión en la nueva tecnología de cadena de bloques (“Blockchain”) para convertirse en un Non-Fungible Token (“NFT”) y poder ser comercializado por dinero virtual.

## Abstract

Progress of science has allowed in recent years the development of intelligent systems whose implication in the contemporary world presents applications of different kinds. This document presents the life cycle of an artistic expression, from its conception applying neural network systems interacting with the artist, to its immersion in the new blockchain technology to become a non-fungible Token ("NFT") and be able to be traded for virtual money.

## Palabras Clave

Sistemas Inteligentes, Arte, Ciencia, Redes Neuronales, NFT

## Introducción

La ciencia es el motor que empuja hacia adelante a la humanidad. En nuestra era, los progresos de ciencia y tecnología son inevitables. Los sistemas basados en tecnologías inteligentes predominan en la vida cotidiana.

Por Sistema Inteligente se entiende a aquel que es capaz de adaptarse por medio de la experiencia, interactuando con su entorno y aprendiendo, para cada situación, cuáles son las acciones que se deben tomar para alcanzar el objetivo propuesto. (Corbalán, 2007)

Las creaciones de la mente humana, basadas en la iteración y métodos científicos, generan avances que son mayores a los inicialmente imaginados. Un ejemplo práctico fue el desarrollo de internet, o más recientemente de la tecnología ‘blockchain’, la cual aún se desconocen sus horizontes y qué tan inmerso estará en la vida cotidiana.

Considerando el campo de acción de los sistemas basados en inteligencia computacional, es posible mencionar su presencia en aplicaciones de negocios, análisis de datos, aprendizaje de idiomas, ciencias económicas, desarrollos manufactureros, biomedicina, expresiones artísticas, entre otras.

Es sabida la naturaleza transversal de los sistemas inteligentes. Día a día se los aplica a nuevas áreas del conocimiento, y con ello adquieren más incumbencias. (López De Luise, 2021)

En el presente documento, se realiza un ejercicio práctico con un caso de aplicación poco usual de los sistemas inteligentes. Se desarrollará un proceso a modo de ciclo de vida, que permitirá crear una pieza de arte con la utilización de un sistema de redes neuronales artificiales (RNA), analizando la interacción con el artista, y su posterior inmersión en una cadena de bloques para convertirse en un token No Fungible (NFT).

## Conceptos básicos a considerar

En esta sección se introducen algunos términos esenciales del sector.

- **Redes Neuronales Artificiales (RNA):** paradigma de procesamiento de información que se inspira en la forma en que los sistemas nerviosos biológicos, como el cerebro, procesan la información. El elemento clave de este paradigma es la estructura novedosa del sistema de procesamiento de información. Las redes neuronales, tienen una capacidad notable para derivar información a partir de datos complicados o imprecisos. Se pueden usar para extraer patrones y detectar tendencias que son demasiado complejas para ser notadas por humanos u otras técnicas informáticas. (M. Zakaria, M. Al-Shebany, S. Sarhan, 2014)
- **Aprendizaje no supervisado:** Es un tipo de aprendizaje automático en el que el algoritmo no recibe etiquetas o puntuaciones asignadas previamente para los datos de entrenamiento. Como resultado, los algoritmos de aprendizaje no supervisados primero deben descubrir por sí mismos cualquier patrón natural en ese conjunto de datos de entrenamiento. (Hinton & Sejnowski, 1999)
- **Blockchain:** Una cadena de bloques es esencialmente una base de datos distribuida de registros o un libro mayor público de todas las transacciones o eventos digitales que han sido ejecutados y compartidos entre las partes participantes. Cada transacción en el libro mayor público se verifica por consenso de la mayoría de los participantes en el sistema. Y una vez ingresada, la información ya no se puede borrar. La cadena de bloques contiene un registro seguro y verificable de cada transacción que se haya realizado. Bitcoin, la criptomoneda digital descentralizada entre pares, es el ejemplo más popular que utiliza la tecnología blockchain. (Crosby, Nachiappan, Pattanayak, Verma, Kalyanaraman, 2015)

La segunda moneda en capitalización bursátil después del Bitcoin es Ethereum, la que introdujo el concepto de contratos inteligentes.

- **Contratos Inteligentes:** Protocolos informáticos diseñados para facilitar, verificar y hacer cumplir automáticamente la negociación y el acuerdo entre múltiples partes no confiables. (Shafaq Naheed Khan, Faiza Loukil, Chirine Ghedira-Guegan, Elhadj Benkhelifa & Anoud Bani-Hani, 2021)
- **Token No Fungible (NFT):** es un formato de criptomoneda que se deriva de los contratos inteligentes de Ethereum. Se diferencia de las criptomonedas clásicas

como Bitcoin en sus características inherentes. Bitcoin es una moneda estándar, en la que todas las monedas son equivalentes e indistinguibles. Por el contrario, un NFT es único, no puede intercambiarse de manera similar (de manera equivalente, no fungible), lo que la hace adecuada para identificando algo o alguien de una manera única. Para ser específico, mediante el uso de NFT en contrato inteligente, un creador puede probar fácilmente la existencia y la propiedad de los activos digitales en forma de videos, imágenes, artes, entradas de eventos, etc. Además, el creador también puede ganar regalías cada vez que se comercia en cualquier mercado NFT o mediante intercambio entre pares. (Qin Wang, Rujia Li, Qi Wang, Shiping Chen, 2021)

### Ciclo de vida de una expresión artística

El alcance del caso práctico se define por las siguientes etapas según la Ilustración 1:

- 1- Canvas – Punto de Partida
- 2- Interacción entre Sistemas Inteligentes y Artista
- 3- Expresión Artística – Creación
- 4- Selección de la tecnología Blockchain y mercado
- 5- NFT - Creación



Ilustración 1 - Ciclo de vida de expresión artística en etapas

### Etapas 1: Canvas – Punto de Partida

El punto de partida de una obra de arte digital es su Canvas, que refiere a un espacio en blanco (White – Full Opacity) o (Black – Full Transparency) donde el artista empezará a plasmar su idea. También, puede partirse desde una imagen con licencia abierta, disponible para cualquier usuario.

La aplicación o no de sistemas inteligentes depende de si es parte de la propuesta. Para este caso, se utilizará un sistema inteligente para colorear una foto antigua originalmente tomada con una cámara que captaba solamente el blanco y negro.

Se utilizará como Punto de Partida una imagen de dominio público perteneciente al Archivo General de la Nación Argentina, observable en la Ilustración 2.



Ilustración 2 - Plaza de Mayo 1930 (AGN)

## **Etapla 2: Interacción entre Sistemas Inteligentes y Artista**

El sistema para procesar la imagen se denomina DeOldify<sup>1</sup> y se trata de un proyecto desarrollado por Jason Antic que utiliza redes neuronales para colorear imágenes en blanco y negro.

Para poder llevar a cabo la operación, el desarrollo consiste en utilizar Redes Generativas Antagónicas (RGAs), también conocidas como GANs en inglés, son una clase de algoritmos de inteligencia artificial que se utilizan en el aprendizaje no supervisado, implementadas por un sistema de dos redes neuronales que compiten mutuamente en una especie de juego de suma cero. Fueron presentadas por Ian Goodfellow en 2014.

Además, utiliza NOGAN (también por sus siglas en Inglés) que consiste en un nuevo tipo de entrenamiento GAN desarrollado por el autor del proyecto para resolver algunos problemas clave en el modelo DeOldify. El beneficio es que la mayor parte del tiempo de entrenamiento se dedica a preparar previamente al generador y al crítico por separado con métodos convencionales más sencillos, rápidos y confiables. Una idea clave aquí es que esos métodos más "convencionales" generalmente le brindan la mayoría de los resultados que necesita, y que las GAN se pueden usar para cerrar la brecha en el realismo.

Técnicamente, el modelo utiliza una Resnet34 backbone en un UNet con énfasis en la profundidad de las capas en el lado del decodificador.

Resnet, abreviatura de Residual Networks, es una red neuronal clásica que se utiliza como columna vertebral para muchas tareas de visión por computadora. Este modelo fue el ganador del desafío ImageNet en 2015, donde los desarrolladores de software compiten para clasificar y detectar correctamente objetos y escenas. Los resultados vienen mejorando de manera significativa medidos por tasa de equivocación según puede observarse en la Ilustración 3. (Dwivedi, 2021)

---

<sup>1</sup> [www.deoldify.ai](http://www.deoldify.ai)

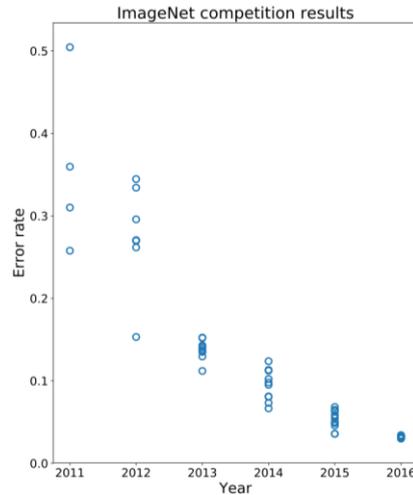


Ilustración 3 - Resultados del ImageNet Challenge por año

El proyecto ImageNet es una gran base de datos visual diseñada para su uso en la investigación de software de reconocimiento visual de objetos. El proyecto ha anotado a mano más de 14 millones de imágenes para indicar qué objetos se representan y en al menos un millón de imágenes, también se proporcionan cuadros delimitadores.

U-Net es una red neuronal convolucional que se desarrolló para la segmentación de imágenes biomédicas en el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Friburgo. La red se basa en la red totalmente convolucional y su arquitectura se modificó y amplió para trabajar con menos imágenes de entrenamiento y producir segmentaciones más precisas.

Siguiendo con el modelo de deOldify en su versión artística, y ahora cuyos conceptos técnicos fueron aclarados, el método de entrenamiento del modelo consiste en la siguiente configuración: 5 repeticiones de ciclo de pre-entrenamiento crítico / GAN a través de NoGAN, además del entrenamiento inicial de generador / pre-entrenamiento crítico / GAN NoGAN, a 192 px. Esto suma un total del 32% de los datos de Imagenet entrenados una vez (12,5 horas de entrenamiento GAN directo).<sup>2</sup>

La utilización de este modelo es de libre acceso, autorizada por el creador del proyecto y puede realizarse desde Colaboratory que es un proyecto de Google, también llamado Colab que permite escribir y ejecutar código de Python en un navegador. O bien, puede activarse desde el ordenador con una plataforma de data science como Anaconda.

El resultado de someter la imagen original a este modelo puede verse en la Ilustración 4.

<sup>2</sup> Basado en la explicación del proyecto <https://github.com/jantic/DeOldify#about-deoldify>



Ilustración 4 - Imagen coloreada con deOldify versión pública

Existen mejoras que se van realizando sobre el modelo original, con lo cual es posible esperar que los resultados vayan mejorando conforme el modelo vaya siendo entrenado.

Se observan varios problemas en el resultado, que hace necesaria la intervención del artista para retocar la imagen y llevarla a colores más reales en sus componentes. Por ejemplo, los tranvías cuyo color original era Marfil o colectivos con colores característicos de la época, o bien algunos colores que no fueron bien interpretados por el modelo que también necesitan retocarse.

El artista en este caso debe considerar fuentes de información históricas para poder ajustar dicha imagen. Algunas investigaciones que se realizan son:

- El material que se va a colorear con su antigüedad al momento de tomar la foto. Un ejemplo es el caso del cobre según se observa en la Ilustración 5: El cobre es de color salmón que expuesto al aire se torna rojo violeta por la formación del óxido cuproso ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Posteriormente se ennegrece por la formación de óxido cúprico ( $\text{CuO}$ ) que largamente expuesto al aire húmedo forma una capa adherente e impermeable decarbonato básico color verde característico.



Ilustración 5 - Oxidación del cobre con el paso de los años

- Modelos de autos y colores ofrecidos por las compañías al momento de tomar la foto.
- Colores de colectivos y tranvías según la empresa que administraba el transporte.

- Publicidades antiguas, cartelería e imágenes de marcas.

Todo lo anterior se torna muy complejo para ser entendido por un modelo de redes neuronales por ser muy específicos a una geografía y a una temporalidad. La intervención del artista en este punto es inevitable.

Existen programas de edición que permiten resolver dichas cuestiones, siendo GIMP ©, la herramienta Open Source elegida para realizar la tarea expuesta. También pueden utilizarse herramientas pagas como es el caso de Photoshop © de Adobe.

### **Etapa 3: Expresión Artística – Creación**

Finalmente, con el trabajo de edición correspondiente que consiste en generar manualmente capas (en algunos casos varios cientos) para poder asignar el color deseado, se llega a un resultado como se muestra en la Ilustración 6, en la cual la base es la foto en blanco y negro del Archivo General de la Nación.



Ilustración 6 - Foto coloreada con intervención artística

La secuencia completa de la creación de la expresión artística se observa en la Ilustración 7.



Ilustración 7 - Transformación en secuencia

### **Etapa 4: Selección de la tecnología Blockchain y mercado**

Para generar un NFT, se debe seleccionar la tecnología de cadena de bloques según la propia conveniencia y el mercado donde comerciar la expresión artística.

Los criterios de selección de Blockchain se basan en:

- Costo de transacción y desarrollo de tokens
- Contratos inteligentes robustos
- Posibilidad de bifurcación
- Velocidad de transacción
- Seguridad

Las cadenas de bloques más utilizadas para el desarrollo del mercado de NFTs son Ethereum, Binance Smart Chain (BSC) y Cardano.

Actualmente los mercados con más volumen de transacciones son:

- OpenSea basado en Ethereum ERC-721 Standard
- Binance NFT Market basado en Binance Smart Chain.

### Etapa 5: NFT - Creación

Una vez seleccionado el mercado, el paso siguiente es el alta del NFT como archivo que puede ser en formato de imagen como JPG.

Para completar esta etapa, debe vincularse una billetera virtual con el mercado elegido. Las billeteras virtuales más utilizadas son Metamask y Trust Wallet, las cuales pueden descargarse como complemento de navegador o como aplicación móvil.

En el panel del mercado seleccionado, se carga el archivo con su descripción. En este ejemplo se da de alta en el mercado de Binance Featured, tal como se muestra en la Ilustración 7.

Ilustración 7 - Ejemplo de alta de un NFT a blockchain

Finalmente, luego de asumir el costo de transacción y desarrollo del token, se procede a emitir dicho NFT y el sistema confirmará la operación, según Ilustración 8.

## Minting your NFT



Check your provider window to confirm the transaction.

Ilustración 8 - Ejemplo de confirmación de un NFT a Blockchain

De esta manera, se le asigna un código único e irrepetible al JPG, asociado a la Blockchain Smart Chain de Binance. Dicho código irá modificándose conforme vaya siendo comercializado en el mercado. Cada transacción implica un cambio de código y todo queda registrado en la cadena de bloques, como puede observarse en la Ilustración 9.

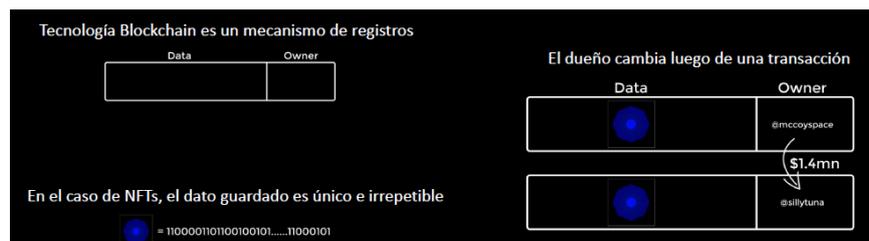


Ilustración 9 - Registro de transacción NFT. Elaboración propia.

El dueño de la expresión artística ya puede vender su trabajo y obtener regalías en el caso de que siga vendiéndose más adelante. Así finaliza el ciclo de vida del proceso que ejemplificamos.

### Propiedad intelectual de un NFT

Los NFT no son instrumentos legales y su tenencia no tiene implicancia en el ámbito jurídico dado que no hay un marco que pueda avalarlo.

Sin embargo, el creador de un token para su obra artística debe considerar los términos y condiciones que aceptan en las diversas plataformas del mercado NFT que se utilizan para vender sus trabajos. También asegurarse que la propiedad de sus obras esté plenamente integrada en su arte y de que sea indiscutible que todos los derechos y la propiedad de la propiedad intelectual pertenecen exclusivamente al creador.

La propiedad de un NFT tampoco da derecho a hacer y vender copias de la obra que fue comprada.

El comprador debe apegarse a los mercados NFT de gran reputación para resguardar su patrimonio.

## Conclusión

A través del entendimiento de diversas herramientas y sistemas inteligentes, es posible ver cómo su interacción genera nuevos horizontes para las creaciones artísticas, su comercialización y su posterior venta en el mercado. En este documento se utilizaron redes neuronales con modelados GAN y Blockchain con tecnología Smart Chain de Binance.

El caso práctico actual no constituye una oferta real de NFTs.

## Bibliografía

Corbalán, L. (2007). *Sistemas Inteligentes. Aplicaciones*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. .

Dra. López de Luise, D. (2021). *Las Tecnologías Inteligentes (TIs): múltiples aspectos de su impacto*. Buenos Aires: Academia de Ciencias de Buenos Aires.

Dwivedi, P. (2021). *Understanding and Coding a ResNet in Keras*.  
deeplearninganalytics.org.

Hinton, G., & Sejnowski, T. (1999). *Unsupervised Learning: Foundations of Neural Computation*. MIT Press.

M. Zakaria, M. A.-S. (2014). *Artificial Neural Network: A Brief Overview*.

Michael Crosby, N. P. (2015). *Blockchain Technology - Beyond Bitcoin*. Berkeley: Berkeley University of California.

Mitchell, T. (1997). *Machine Learning*. McGraw Hill.

Qin Wang, R. L. (2021). *Non-Fungible Token (NFT): Overview, valuation, Opportunities and Challenges*. Birmingham: University of Birmingham.

Shafaq Naheed Khan, F. L.-G.-H. (2021). *Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends*. DOI Foundation.

# SISTEMAS INTELIGENTES Y ETICA

Antonio A. Martino\*

*“La ética es la diferencia entre lo que tienes derecho de hacer y lo que es correcto hacer”.*  
*Potter Stewart*

*“La ética es en origen el arte de recomendar a otros los sacrificios requeridos para la cooperación con uno mismo.”* *Bertrand Russell*

*“Lo correcto es correcto, aunque todos los condenen, lo incorrecto es incorrecto, aunque todos lo aprueben”* *Charles Spurgeon*

## Sumario:

### 1. Algunos hechos

- 1.1 Los autos autónomos
- 1.2 Reconocimiento facial
- 1.3 Armas autónomas
- 1.4 Noticias falsas
- 1.5 Las máquinas reemplazan trabajo humano
- 1.6 Pandemia y pases verdes
- 1.7 Sesgos de conocimiento

### 2. Los sistemas inteligentes

- 2.1 La inteligencia artificial
- 2.2 Los riesgos de la I.A.

### 3. La ética

- 3.1 Ética y moral
- 3.2 Siempre que aparecen riesgos se vislumbra la ética

### 4. Documentos poniendo límites

- 4.1 La Unión Europea
- 4.2 El Vaticano.
- 4.3 El Parlamento Europeo (PE)
- 4.4 La visión de los expertos: los 23 principios de la IA de Asilomar
- 4.5 La OCDE
- 4.6 La Unesco
- 4.7 Libro blanco de Inteligencia artificial de la UE

---

\* Profesor emérito de las universidades de Pisa, Italia y Salvador, Argentina, miembro de la Academia Nacional de Derecho y Ciencias sociales de Córdoba Miembro asociado del Center for Artificial Intelligence and Cognitive learning of the University of Greenwich

## 5. Ética y estética

## 6. Conclusiones

### 1. Algunos hechos

1.1. Los autos autónomos<sup>18</sup> de marzo de 2018, a las 21.59 hs en Tempe, Arizona Elaine Herzberg fue embestida y muerta por un auto autónomo de prueba, de la firma Uber, conducido por los sistemas desarrollados para ese fin, con una conductora de seguridad llamada Rafaela Vásquez.

El automóvil disponía al momento del accidente, de cámaras con visión de toda la periferia, múltiples sensores, GPS, ubicación en mapas electrónicos, radar para la determinación de la velocidad relativa de cada objeto en movimiento, del LIDAR (Light Detection and Ranging) que permite una visión completa 300m de distancia y a 360°, con imágenes tridimensionales con muy alta definición debido a la utilización de láser. Todo esto controlado y comandado por un sistema inteligente de conducción.

La tecnología recibía los distintos datos y los procesaba con sus algoritmos, calculando continuamente y elaborando predicciones de las distintas alternativas de ocurrencia en los siguientes pocos segundos, en base a los objetos, personas, señalización y reglas de tránsito vigentes. El auto se desplazaba a 69 Km/hora, el sistema de detección de imágenes percibe 6 segundos antes de la colisión un objeto que no identifica en el medio de la calzada. Elaine Herzberg vestía un abrigo negro y llevaba a pie su bicicleta cargada.

El sistema detecta, un objeto no reconocido, luego interpreta un auto y finalmente una bicicleta, todo esto en concordancia con nuevas y sucesivas imágenes. Los sistemas de identificación necesitan varios miles de muestras de imágenes de un determinado objeto para aprender a identificarlo<sup>1</sup>.

El algoritmo encuentra un objeto que desconocía, porque no estaba comprendido dentro los que habían aprendido, Estamos entonces en presencia de lo que en inteligencia artificial se denomina un “falso positivo”, es decir no identifica (falso) un objeto persona (verdadero). Los sistemas de reconocimiento de imagen expresan el resultado como una probabilidad que sea un objeto determinado, por ejemplo 95% casi certeza o un dudoso 15%.<sup>2</sup> Cuatro segundos después de la detección de un objeto no identificado, el sistema decide frenar para evitar el daño posible en el caso que la consistencia del objeto sea contundente, esto ocurre a 1,3 segundos de la colisión, la velocidad al momento del impacto fue de 63 Km/hora.

---

<sup>1</sup>Un niño con unas pocas fotografías puede detectar enseguida una bicicleta. Es la diferencia entre un humano y una maquina: el primero se ubica en un ambiente y reconoce cosas porque puede ponderar, la máquina puede ejercer muchos razonamientos muy rápidamente, pero carece de ponderación. Para decirlo en modo simple: la maquina puede ser racional, nunca razonable.

<sup>2</sup>El programador debe evaluar cuál es el límite razonable de aceptación de la identificación, el caso del auto autónomo si el nivel de reconocimiento de la imagen es muy alto, cualquier objeto no reconocido hará que el sistema frecuentemente frene y hasta se detenga, según las circunstancias, haciendo que el vehículo realice una conducción torpe y brusca.

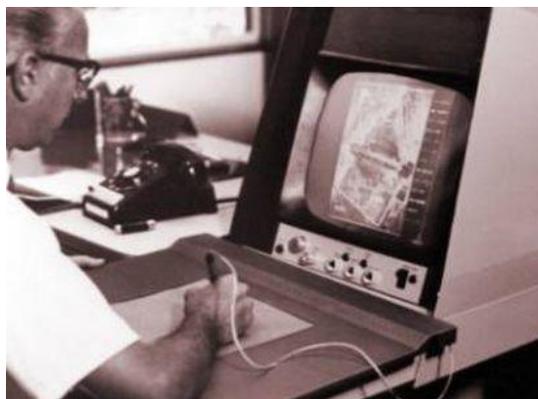
Esta larga descripción relata la concientización de la aparición de los autos autónomos: Tiene lugar cuando hay un trágico accidente. Es una constante en la vida humana: Percibimos las cosas cuando nos procuran una gran alegría o un enorme miedo. Pero hay también una segunda consecuencia tal vez más importante de la humana condición: En esos momentos de conmoción y riesgo comenzamos a preguntarnos si es justo que algo así suceda, si está bien o está mal y aquí aparece la dimensión ética.

## 1.2 Reconocimiento facial

En los años 60 del siglo pasado Woodrow Bledsoe (1921-1995) y el dispositivo, la tableta RAND. Woodrow Wilson *Woody* Bledsoe, pionero de esta disciplina, fue además uno de los fundadores de la inteligencia artificial. Y contribuyó de forma importante al campo de reconocimiento de patrones, un aspecto determinante para la técnica que desarrolló en la década de los 60 y que entonces se llamó "reconocimiento facial de máquina".

El procedimiento consistía en clasificar una serie de retratos fotográficos de diferentes personas que previamente debía digitalizar. Aún sorprende la herramienta de la que se valió para realizarlo: La tableta RAND, un dispositivo electrónico bastante sofisticado para la época, abuelo de las actuales tabletas gráficas, que disponía de un lápiz que se comunicaba con una cuadrícula de 10 x10 pulgadas a través de impulsos electromagnéticos.

El programa de reconocimiento de escritura a mano que usaba la tableta se denominaba GRAIL (Graphical Input Language) y permitía dibujar formas y texto que el software suavizaba y renderizaba en un monitor en tiempo real. Lo más innovador era que incluso reconocía gestos y era posible eliminar, mover o cambiar el tamaño de los elementos. Bledsoe aprovechó estas funciones para marcar las características faciales mediante coordenadas, como la ubicación de la línea del cabello, los ojos o la nariz. Una vez digitalizados, estos registros numéricos se asociaban al nombre del individuo y se guardaban en una base de datos. El proceso inverso consistía en buscar en el fichero aquella cara que coincidiera en rasgos faciales, a partir de una imagen desconocida.



Tableta Rand en una demostración RAND.ORG

El sistema adolecía de las limitaciones técnicas de la época. El propio Bledsoe reconocía la incapacidad de las máquinas para distinguir incluso al mismo individuo en dos fotografías diferentes o desde distintos ángulos o iluminaciones. No obstante, supuso la primera piedra de un método que fue desarrollándose en los siguientes años gracias al progreso de los algoritmos y la capacidad de las computadoras.

El método tiene sus raíces en el siglo XIX: el oficial de policía francés Alphonse Bertillon creó un método para identificar criminales en función de sus características físicas. Había clasificado 11 tipologías y a partir de retratos fotográficos estandarizados, tomaba notas de sus rasgos por escrito.

Un siglo después, en 1994, el “padre fundador” de la identidad digital, Joseph Stick, planteó que las computadoras podían procesar información biométrica. No estaba equivocado.

La forma que tiene el software de identificar una cara en concreto es a través de un conjunto de referencias o puntos concretos (suelen ser aproximadamente 68) cuya distancia entre ellos y configuración son distintos para cada persona, confiriendo *patrones únicos como una huella digital*.

También existen otros métodos más modernos de identificación como el análisis de textura superficial que mapea y cataloga la textura de la piel, como si cartografiase cada poro y cada arruga de la cara.

La historia de esta tecnología está atada a China, uno de los primeros países en utilizar el reconocimiento facial para patrullar las calles. Y cuando decimos que es sorprendente nos referimos a este tipo de datos: más de 300 millones de cámaras de seguridad detectan, en China, caras individuales entre multitudes

El *reconocimiento facial* se ha convertido en los últimos años en un área de investigación activa que abarca diversas disciplinas, como procesado de imágenes, reconocimiento de patrones, visión por ordenador y redes neuronales. Involucra a investigadores de áreas de informática como a neurocientíficos y psicólogos. Se podría considerar también dentro del campo de reconocimiento de objetos, donde la cara es un objeto tridimensional sujeto a variaciones de iluminación, pose, etc., y ha de ser identificada basada en su proyección 2D (excepto cuando se utilizan técnicas 3D).

El objetivo de un sistema de reconocimiento facial es el siguiente: dada una imagen de una cara "desconocida", o imagen de test, encontrar una imagen de la misma cara en un conjunto de imágenes "conocidas", o imágenes de entrenamiento. La gran dificultad añadida es la de conseguir que este proceso se pueda realizar en tiempo real. El sistema identificará las caras presentes en imágenes o videos automáticamente. Puede operar en dos modos: 1. *Verificación o autenticación de caras*: compara una imagen de la cara con otra imagen con la cara de la que queremos saber la identidad. El sistema confirmará o rechazará la identidad de la cara. 2. *Identificación o reconocimiento de caras*: compara la imagen de una cara desconocida con todas las imágenes de caras conocidas que se encuentran en la base de datos para determinar su identidad.

Se utiliza principalmente en sistemas de seguridad para el reconocimiento de usuarios. En estos sistemas se utiliza un lector que define las características del rostro, y cuando este solicita el acceso, se verifica comparando los datos obtenidos con la base de datos. Sin embargo, estos sistemas no son útiles a largo plazo ya que, a medida que pasan los años, los rasgos faciales varían y al solicitar el acceso ya no coinciden con la imagen en la base de datos. Para solucionar este problema se puede utilizar un algoritmo que interprete el paso de los años, aunque igualmente sigue sin ser del todo fiable), o bien, renovar frecuentemente la base de datos.

También se utiliza en aplicaciones de interacción persona-ordenador, en gestión multimedia, y en software como Google's Picasa, Apple iPhoto, Sony's Picture Motion Browser (PMB), Facebook y Asus Smart Logon.

Una aplicación de reconocimiento facial futura se basa en establecer esta técnica a nivel de usuario. Por ejemplo, en un supermercado o en un establecimiento pequeño se podría llevar a cabo un control sobre quien abre la caja registradora mediante un reconocimiento facial previo, de esta manera también se pueden evitar intentos de robo ya que, al no reconocer el rostro, la caja permanecería cerrada. Un caso más extremo sería en los cajeros automáticos donde, para poder operar, fuese necesario un reconocimiento facial en vez del actual PIN.

Las aplicaciones que ya existen de reconocimiento facial se aplican en China para tener en todo tiempo un control absoluto sobre los ciudadanos, esto ¿está bien? ¿O es un gran reto para nuestras libertades?

Que haya una permanente visión de nuestros actos ¿es un atentado contra la privacidad a la cual, hemos aprendido, tenemos derecho?

Fuera del ámbito de la seguridad, ya vimos cómo la inteligencia artificial aplicada a este ámbito asomaba en nuestras redes sociales como algo inocente y original allá por el 2010, cuando Facebook lo incorporó para reconocer las caras de nuestros amigos en las fotografías que subíamos y las etiquetas que le proporcionábamos. Su uso se extendió rápidamente y hoy se encuentran en muchos de los smartphones y aplicaciones que utilizamos a diario.

Las polémicas sobre el uso de la biometría se han alzado principalmente al descubrirse que algunas empresas y organismos utilizaban la información recopilada para otro propósito diferente del autorizado. Este asunto ha estado en el centro del debate sobre ética y privacidad desde el 2001, propiciado a su vez por un vacío legal en la aplicación de las nuevas tecnologías de la información.

El Sistema de Reconocimiento Facial de la INTERPOL (IFRS) almacena imágenes faciales enviadas por más de 160 países, lo que la convierte en una base de datos única en el ámbito policial. Este sistema, puesto en marcha a finales de 2016 ha logrado identificar a más de 650 delincuentes, prófugos y desaparecidos. Pero su web ya advierte que la calidad de las imágenes es un aspecto esencial y que aquellas que solo posean una resolución media o baja pueden no conseguir o influir negativamente en la precisión de la búsqueda.

En los últimos meses, las controversias sobre su uso han aumentado, impulsadas en parte por el movimiento Black Lives Matter<sup>3</sup>, por lo que diferentes organismos han empezado a recular acusando excesivo control y posible promoción del racismo y la injusticia social. Amazon o IBM dieron un paso atrás. San Francisco ya se había convertido el pasado año en la primera gran ciudad de EE UU en prohibir a todas las agencias locales, entre ellas la policía, el uso de técnicas de reconocimiento facial, por miedo a que se las utilice para discriminar.

En nuestro país hubo muchos casos de detenciones erróneas, como uno en Bahía Blanca en 2019. No es sólo en Argentina que hay organizaciones que se oponen a este sistema. A mediados del año pasado, por ejemplo, hubo un caso en Estados Unidos que despertó fuertes polémicas. Esto reavivó la preocupación sobre los riesgos de sesgo en la inteligencia artificial, en medio de una ola de protestas contra el racismo y la violencia policial.

Según la Unión Americana de Libertades Civiles (ACLU), que presentó una denuncia en su nombre el 24 de junio de 2020, "aunque es el primer caso conocido, probablemente no sea la primera persona que ha sido detenida e interrogada erróneamente sobre la base de un problema de reconocimiento facial".

Para Joy Buolamwini, fundadora del grupo activista Algorithmic Justice League, el caso está revelando "cómo el racismo sistémico puede codificarse y reflejarse en las inteligencias artificiales (IA)". De hecho, bajo la presión de grupos como la poderosa ACLU, Microsoft, Amazon e IBM anunciaron a principios de junio que limitarían el uso de sus herramientas de análisis facial por parte de las fuerzas del orden. De hecho, el sistema es cuestionado en todo el mundo: está probado que hay sesgos raciales en esta tecnología.

En ciudades como San Francisco se prohibieron estas técnicas de reconocimiento facial para identificar a criminales. Alemania lo vetó para su policía y en Francia los colegios no pueden usar este sistema. En las antípodas de estas medidas están países como China e Inglaterra. En la Policía Metropolitana londinense implementó desde el año pasado la tecnología de reconocimiento facial en las calles. El debate está abierto porque los derechos civiles pueden verse fuertemente vulnerados.

### 1.3. Armas autónomas

La tarde del 2 de enero de 2020 dos misiles alcanzaron en los exteriores del aeropuerto de Bagdad a un vehículo en el que viajaban el comandante de una milicia iraquí Abu Mehdi al Muhandis, y Quasem Soleimani, líder de la Fuerza Quds, unidad élite de la Guardia Revolucionaria Islámica. Fuentes oficiales de Washington confirmaron horas más tarde la autoría del ataque (Guimón, 2020, 3 de enero). Este golpe militar fue significativo no solamente porque se produjo en un momento de máxima tensión política entre Irán y Estados Unidos, sino también por su modus operandi. Primero, el ataque fue ejecutado con un dron MQ-9 Reaper, un vehículo aéreo pilotado a remoto desde bases aéreas que se encuentran normalmente lejos de la zona de operación. Segundo, la zona de la operación, el

---

<sup>3</sup>Movimiento surgido en EEUU frente a abusos contra la comunidad afroamericana y que significa literalmente "la vida negra importa".

aeropuerto de Bagdad se encuentra en un país, con el que Estados Unidos oficialmente no está en guerra. Tercero, las víctimas del ataque fueron líderes militares a los que Estados Unidos consideran enemigos que, según las mismas fuentes, estaban preparando ataques contra el personal diplomático y militar estadounidense (IBID.). Se trataba, por tanto, de un ataque selectivo.

No es este el origen de las armas autónomas, sino que es uno más de una larga serie que Estados Unidos está ejecutando desde la primera década del nuevo milenio en el exterior, principalmente en países de Oriente Medio y forma parte de la doctrina de guerra preventiva, cuyo artífice es la anterior Secretaria de Estados de Estados Unidos, Condoleezza Rice.

Desde la publicación del informe del Christof Heyns, Relator Especial sobre ejecuciones extrajudiciales, sumarias o arbitrarias explica en su informe, del 9 de abril de 2013, se han multiplicado las voces que advierten de los peligros que podrían manifestarse en el futuro, cuando los drones adquieren tanta autonomía que podrían elegir los objetivos y ejecutar los ataques sin la intervención del hombre. El Secretario General del Consejo de Seguridad Naciones Unidas, advierte en su informe Protección de civiles en conflictos armados de la necesidad de que se regule sistemas de armas autónomas letales (SAALs en adelante) en cumplimiento con el Derecho Internacional Humanitario. En la actualidad, ya son nueve países que están desarrollando armas autónomas letales. Siete de ellos son: Estados Unidos, China, Rusia, Reino Unido, Francia, Israel y Corea del Sur<sup>4</sup>. A estos hay que añadir Irán, cuyos drones se han encontrado en los ataques a las instalaciones de Saudi Aramco, y Turquía que está usando sus drones en Libia. Este dato revela la importancia del área y no ha pasado de forma desapercibida en el mundo académico y la opinión pública.

Las preguntas que se plantean son ¿Quién es el responsable en el uso de armas autónomas letales y de las bajas por un ataque? ¿Qué ocurre cuando un arma actúa de forma tan autónoma que para un comandante ya no es posible frenar el ataque? ¿Cómo afectarían armas autónomas en los ámbitos del Derecho Internacional Humanitario y el Derecho de Conflictos Armados?

Todos los sistemas manifiestan cierta probabilidad de fallar, y si no existe ningún control - sea otro sistema o el hombre – las consecuencias pueden ser dramáticas. Uno de los ejemplos más notorios es el del Teniente Coronel Stanislav Petrov quien evitó una guerra nuclear el 26 de septiembre de 1983, cuando confió más en su intuición en lugar del sistema alerta temprana del que era responsable. El nuevo satélite Oko había interpretado los reflejos de la luz solar en las nubes como el lanzamiento de misiles intercontinentales. Petrov decidió contrastar la información del sistema con la vigilancia aérea y sus superiores en lugar de iniciar el contraataque que exigía el protocolo de acción ¿Qué hubiera ocurrido si un sistema automatizado hubiera actuado sin la intervención humana? No es probable que en un escenario de estas envergaduras el hombre esté fuera del bucle, pero ¿Quién puede garantizar que esto no cambie cuando un conflicto se escale?

¿Quién puede garantizar que un país no despliegue estas armas en el modo de autonomía supervisada para responder con más rapidez a un ataque masivo de enemigo?

---

<sup>4</sup> *Report: Kill the idea of 'killer robots' before they kill us*, Center for a New American Security, ápod Aznar, 2020, p. 26.

Críticos de las armas autónomas alegan también una posible mayor predisposición para la entrada en conflicto, debido al menor riesgo para las personas.

La razón que alegan muchos críticos es la ingente cantidad de ejecuciones extrajudiciales que han estado ejecutando las fuerzas de seguridad estadounidenses durante los últimos años en Oriente Medio. El informe de Heyns, antes citado, estaba motivado precisamente por este tipo de ataques selectivos.

Estados Unidos llevó a cabo en diez años más de 300 ataques aéreos contra combatientes talibanes y cuadros de Al Qaeda en zonas fronterizas Pero estos ataques no fueron operaciones militares stricto sensu. Al contrario, se trataba de una operación encubierta de la Agencia Central de Inteligencia. Según un recuento de la New America Foundation, entre 2004 y marzo de 2013, los ataques con drones acabaron con la vida de entre 1535 y 2660 militantes de talibanes <sup>5</sup>. La misma fuente señala que solamente el dos por ciento de las víctimas fueron cuadros de Al Qaeda o de otros grupos terroristas, mientras más de 80 por ciento eran militares rasos o colaboradores que apoyaban la yihad de forma no combativa (IBID).

En febrero de 2020, después de 15 meses de consultas con expertos de la industria, la academia, el gobierno y el público americano, el Departamento de Defensa adoptó cinco principios éticos para la inteligencia artificial (DoD, 2020). Estos principios forman parte de la Iniciativa Americana de Inteligencia Artificial que trata de promover el uso innovador de la IA, mientras protege las libertades civiles, la privacidad y los valores El análisis de la estrategia nacional de defensa se basa en el resumen ejecutivo, porque el documento entero no está disponible en la página del departamento de defensa americano. <sup>6</sup>

Los principales marcos regulatorios bilaterales y multilaterales para la regulación de armas se crearon cuando las armas aún no disponían de la autonomía actual. Su objeto de regulación eran armas químicas (Convención sobre Armas Químicas, de 1993), armas biológicas (Convención sobre las Armas Biológicas de 1975), armas nucleares (Tratado de No Proliferación Nuclear de 1968 y el Tratado sobre Fuerzas Nucleares de Rango Intermedio de 1987) y armas en el espacio (Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre de 1967). De fechas más recientes son la Convención sobre la prohibición de minas antipersonales, de 1997 y el Tratado de comercio de armas de 2014. Ninguno de estos tratados regula sistemas de armas autónomas. Una excepción sería el Régimen de Control de Tecnología de Misiles, de 1987, que regula al menos la exportación de vehículos aéreos no tripulados.

---

<sup>5</sup> New America Foundation, ápuđ Montoya, 2014

<sup>6</sup> Según este documento, la inteligencia artificial debe cumplir los siguientes Principios: 1. Responsable: El personal del Departamento de Defensa será responsable del desarrollo, el empleo y el uso de las capacidades de la IA, manteniendo niveles apropiados de juicio y precaución. 2. Equitativo: El departamento procurará minimizar sesgos no intencionados en las capacidades de IA.

3. Trazable: El personal involucrado deberá disponer el entendimiento apropiado de la tecnología y de los métodos operacionales que se pueden aplicar en las capacidades de la IA. Estas incluyen metodologías transparentes y auditables, las fuentes de datos, el diseño de los procesos y de la documentación.

4. Fiable: Las capacidades de la IA tendrán usos bien definidos y explícitos, y la seguridad y eficiencia de estas capacidades. Estas serán objeto de pruebas de seguridad durante todo su ciclo de vida. 5. Gobernable: Con este principio, el departamento se reserva el derecho de desconectar o desactivar sistemas desplegados que muestran un comportamiento no intencionado

Un sistema de armas, por muy sofisticado y autónomo que sea, no puede ser un agente moral porque no tiene ningún vínculo emocional con los hombres. Es por este motivo por el que la mayoría de los expertos rechazan la idea que un sistema deba tener la opción de decidir sobre vida o muerte. Las implicaciones jurídicas se refieren al respeto de algunos principios claves en el Derecho Internacional Humanitario, en concreto los principios de distinción, proporcionalidad y precaución. Existen varios niveles donde se toman decisiones.<sup>24</sup> Especialmente en la planificación de un ataque existe la posibilidad de respetar estos principios. Un sistema no funcionará nunca con plena seguridad. Esta es la principal razón por la que el hombre siempre debería mantener el control sobre el sistema, reivindicación que repiten numerosos críticos de los sistemas de armas autónomas. Los dos incidentes descritos en este capítulo muestran el peligro cuando un sistema malinterpreta una información e induce a activar un protocolo de contraataque.

#### 1.4. Noticias falsas

El periódico neoyorquino *The Sun* en 1835 informaba de seres que habitaban la Luna. La noticia causó un enorme impacto en EEUU gracias a tres factores: la aparición de las prensas de alta capacidad, la caída del precio de los periódicos (la penny press), y la llegada de los nuevos medios de transporte que superaban la velocidad de los caballos por primera vez en la historia: los trenes y los barcos de vapor. Esos factores ayudaron a difundir a gran escala una información falsa y sensacionalista bajo el disfraz de una noticia verdadera. Es lo que hoy denominamos fake news

La propaganda busca convencer, ser eficaz, y para eso puede recurrir a todo tipo de instrumentos, desde el arte hasta el cine, los pasquines o las redes sociales. Las noticias falsas, una de las ramas de la propaganda, son diferentes: buscan engañar, crear otra realidad. La preocupación por la forma en la que estos engaños cuajan y por los mecanismos a través de los que se crean y se multiplican no es nueva.

Las noticias falsas envenenan el mundo de las noticias y provocan desequilibrios morales.

El cuestionamiento del *ethos* comunicacional e informativo —o sea, de las normas, principios y valores que fundamentan las formas de comunicación y la información en una determinada sociedad— gira actualmente en torno a temas tan variados como la privacidad, la propiedad intelectual, el acceso libre al conocimiento, el derecho a la expresión en las redes digitales, la censura, las nuevas definiciones de género, la identidad digital, las comunidades digitales, el plagio digital, la sobrecarga informacional, la brecha digital y el control social digital

El filósofo italiano Luciano Floridi distingue entre una «ética de la comunicación global» (*ethics of global communication*) y una «ética de la información global» (*global information ethics*)<sup>7</sup> la primera se refiere al diálogo y las prácticas consensuales en la interacción entre diversas culturas y generaciones. Pero tratándose de una postura meramente pragmática deja de lado, según Floridi, preguntas más básicas como, por ejemplo: ¿cuáles son en este caso los principios éticos que se toman como base de dicho

---

<sup>7</sup>Luciano Floridi, *Sextus Empiricus, The Recovery and Transmission of Pyrrhonism*. Oxford: Oxford University Press, 2002.

diálogo y en qué se fundamenta dicha elección? o ¿existe una «macroética» en el sentido de un cierto tipo de consecuencialismo o deontologismo o contractualismo? <sup>8</sup>

### 1.5 Las maquinas reemplazan trabajo humano

Microsoft ha decidido sustituir a la mayoría de los periodistas que tenía contratados para producir noticias para el sitio web MSN.com y en su lugar emplear robots. La medida supondrá el despido de unos 50 redactores, aunque la compañía ha señalado que también se quedarán otros muchos profesionales en plantilla.

Entre las funciones que desempeñaban los periodistas que serán sustituidos estaba la de organizar las noticias en la portada de MSN, elegir los titulares y las imágenes que acompañan el contenido, y muchas otras. Sin embargo, a partir de finales de junio estas funciones de producción de noticias las realizarán sistemas automatizados utilizando la Inteligencia artificial.

La compañía no ha precisado si hará más cambios en otros departamentos que también impliquen sustituir el trabajo desempeñado por seres humanos por robots. Microsoft ha asegurado que adopta esta decisión tras evaluar la evolución de su negocio y la necesidad de reducir las inversiones para abaratar costes. De todas maneras, la firma aclara que los cambios no se vinculan con la pandemia de COVID-19.

La decisión ha provocado las críticas de algunos periodistas afectados, que consideran «desmoralizante» que una máquina pueda reemplazarlos y realizar su trabajo. Además, hay que tener en cuenta que la Inteligencia Artificial debe pasar por un proceso de formación y aprendizaje para poder sustituirles y esto podría llevar a la generación de contenido inapropiado en el portal de noticias.

Las estimaciones con respecto a la cantidad de trabajos que se destruirán con la llegada de las máquinas (robots, inteligencia artificial o cómo le quieran llamar) son variadas, pero la gran mayoría apuntan a una pérdida importante que afectará principalmente a aquellos puestos que requieren trabajo físico.

El Foro Económico Mundial (WEF) acaba de publicar su informe *'Future of Jobs 2018'*,<sup>9</sup> donde se lanzan con cifras que podrían sonar igual de alarmantes, pero que en esta ocasión nos plantean un escenario un poco más alentador. Y es que sí, el estudio pronostica que se perderán empleos, pero afirman que se crearán nuevas funciones que requerían un mayor grado de especialización.

Un ejemplo concreto de conflicto entre las visiones económicas y éticas: la muy debatida cuestión de la pérdida de puestos de trabajo inducida por la automatización, incluida la IA. Un aspecto crucial, especialmente en el futuro, que puede conducir a un aumento sustancial de las desigualdades, a menos que se adopten medidas, principalmente políticas, pero no sólo, para evitarlo.

---

<sup>8</sup>Luciano Floridi, *The Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*. (a cura di) Oxford: Blackwell, 2003.

<sup>9</sup> [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs\\_2018.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf)

"¿Es correcto introducir nuevas tecnologías que conduzcan a la pérdida de puestos de trabajo?", pregunta el representante de la Oficina Nacional de Investigación Económica de Estados Unidos. Y trata de responder: "los economistas podrían estar tentados a responder inmediatamente 'sí' a mi pregunta. Pueden observar que en un mercado que funciona bien, los salarios reflejan perfectamente el valor social del trabajo; si a un nivel determinado de salarios, una empresa encuentra conveniente innovar de manera que ahorre costes de mano de obra, libera mano de obra para emplearla en otras actividades más útiles para la sociedad.

En la práctica, si un determinado trabajo ya no es necesario, se vuelve obsoleto, pierde su utilidad y, por lo tanto, su valor, por lo que es mejor no hacerlo más y cambiarlo. Después de todo, siempre ha funcionado así. "Pero también hay que tener en cuenta que la pérdida de puestos de trabajo es socialmente más cara de lo que sugiere una visión eficiente del mercado".

No es sólo el mercado el que puede decidir

### 1.6 Pandemia y permisos verdes

El diciembre del 2019 aparecieron los primeros casos de Covid 19 la epidemia abrazo 2020 y lo que va del 2021 y no parece tener un final cercano. Esto ha modificado nuestro modo de vivir, aislados, distanciados, con barbijos, vacunados y ahora con obligación de presentar un certificado que se llama *Green pass*. Para viajar los países europeos han creado el *European Union digital Passenger Locator Form (EUdPLF)*<sup>10</sup> pero se lo exige también en las escuelas, en los medios de transportes, en los lugares de comidas y en el trabajo. Esto está dando lugar a aguerridas disputas morales con intervenciones de jefes políticos (el Premier italiano Draghi dijo que no vacunarse es suicida y promover no vacunarse a los demás una instigación al suicidio y hasta el Papa quien proclamo que vacunarse es un acto de amor).

La discusión seria es sobre el pedido de certificación para realizar actividades como trabajar: no solo los docentes han protestado sino también las centrales obreras sobre todo porque después que lo solicitaran las empresas públicas, ahora también los privados piden certificados para entrar en las fábricas o lugares de trabajo.

En Francia se discute porque es obligatorio para los gendarmes, pero no para la policía y en general si este requisito no vulnera la libertad de los ciudadanos para disponer de las terapias sobre su propio cuerpo.

### 1.7 Sesgos cognitivos.

Trabajando con máquinas hemos descubierto que transmitimos nuestros sesgos a los programas que creamos, y por ende son prejuiciosos. Pero no somos los únicos que nos ocupamos del problema. En psicología se ocupan de sesgos cognitivos y los efectos psicológicos que dificultan procesar la información y llegan a tergiversar interpretaciones y a juicios inexactos, es la irracionalidad que distancia al *Homo sapiens* del *homo economicus*. Se han hecho estudios y se han podido verificar alrededor de 200 errores que cometemos.

---

<sup>10</sup> Permiso con formas estrictas que se obtienen en la plataforma de la UE.

Pero ¿el *Homo sapiens* no es la especie cuya capacidad intelectual lo lleva a la cima de la naturaleza? Parece que muchos de los errores de sesgos cognitivos son conductas adaptativas que surgieron cientos de miles de años atrás y que fueron útiles hasta no hace mucho. Cada cambio importante en la cultura llevo a cambios en nuestros sesgos cognitivos. Y si esto fuese así todos tendríamos más o menos los mismos sesgos. Pero no es el caso: el antropólogo Joseph Henrich publicó un libro<sup>11</sup> donde los más extraños del mundo son los Weird (western educando, industrializado, rico y democrático) ¿Te identificas por tu profesión o logros, más que por tu red familiar? ¿Cultivas tus atributos y metas únicas? Si es así, tal vez usted es RARO: criado en una sociedad que es occidental, educada, industrializada, rica y democrática. A diferencia de la mayoría de los que han vivido alguna vez, las personas WEIRD son altamente individualistas, inconformistas, analíticas y orientadas al control. ¿Cómo las poblaciones WEIRD llegaron a ser tan psicológicamente peculiares? ¿Qué papel jugaron estas diferencias en nuestra historia y qué significan para nuestra identidad colectiva?

Los sesgos son diferentes según la cultura y si los Weird están en un extremo hay otros que están el opuesto y obviamente intermedios. Con un ejemplo: Ud. Acompaña una amiga en auto, doblan por una calle casi desierta a mayor velocidad de la permitida, aparece un transeúnte y lo atropellan, la pregunta es si quien conduce tiene derecho a pedir al amigo que mienta con respecto a la velocidad del auto. Los estadounidenses, canadienses, australianos y escandinavos en un 90 % dicen “no”. Venezuela, Corea del Sur o Rusia, el 50 % dice “sí”. No hay un dato seguro, pero en Argentina estaríamos en un 65 % de “no”. El Weird tiene mejor economía, educación y gobierno, pero son prejuiciosos con respecto a los que no son como ellos. Los opuestos tienen mala economía, gobiernos despóticos, menor educación y menor tasa de ahorro, pero son menos prejuiciosos para con los demás.

Y todo esto tiene consecuencias morales: los que son más estrictos moralmente tienen más prejuicios y esto se transmite también a los programas que crean. En el reconocimiento facial hay problemas cuando la persona no es de tez blanca.

## 2. Sistemas inteligentes

### 2.1. La inteligencia artificial

Hay muchas definiciones de I.A. Una de ellas, la que se va afirmando, es decir proporcionar a una computadora capacidad de aprendizaje y aplicación de modelos estadísticos no programados explícitamente. Otra dice Programa de computación diseñado para realizar determinadas operaciones que se consideran propias de la inteligencia humana, como el autoaprendizaje.<sup>12</sup>

Prefiero hablar de sistemas inteligentes que es aún más amplio pero que voy a definir en modo sencillo como aquellos que presentan un comportamiento externo similar en algún aspecto a la inteligencia humana o animal. Se caracterizan por su capacidad para representar, procesar y modificar de forma explícita conocimiento sobre un problema, y para mejorar su desempeño con la experiencia. Esto les permite resolver problemas

---

<sup>11</sup> Joseph Henrich *The WEIRDest People in the World*, Penguin Libros Ltd, 2021

<sup>12</sup> Una más simple e irónica dice “habla, pero no entiende, oye, pero no comprende, mira, pero no ve”

concretos determinando las acciones a tomar para alcanzar los objetivos propuestos, a través de la interacción con el entorno y adaptándose a las distintas situaciones.

Sistemas inteligentes se remiten a “pensar” pero el vocablo en el Diccionario de la Real Academia española tiene siete casos que van desde formar o combinar ideas o juicios.

Examinar mentalmente algo con atención, opinar, tener intención de hacer algo, formar en la mente un juicio, recordar, tener en consideración algo o a alguien.<sup>13</sup> A esto podría añadirse recordar, deducir, querer, inducir, odiar, etc. Pero un sistema inteligente hace más que pensar: recoge información, llegado a una conclusión puede realizar acciones tales como dar órdenes para que se ejecuten acciones, a veces tan complejas, como dirigir el tránsito en Los Ángeles.

El aumento de la inteligencia es la capacidad de integrar nuestras facultades biológicas naturales de razonamiento con otras nuevas basadas en los avances culturales y tecnológicos.

Hasta algo tan fundamental como hablar y entender el lenguaje no es enteramente biológico. Desde el discurso, la escritura, la impresión y las comunicaciones electrónicas, el proceso ha sido largo e importante. Ha incrementado enormemente nuestra capacidad para recoger, analizar y actuar sobre la información.

El humano es un ser lingüístico: y por eso el Evangelio de San Juan comienza con 1, 1 primer versículo. «En el principio era el Verbo, y el Verbo era con Dios, y el Verbo era Dios». <sup>14</sup>

La teoría del razonamiento tiene una larga tradición en la lógica y ésta ha sido siempre la manera primera de abordar los problemas. El próximo salto cuántico en la mejora de las herramientas que nos permiten recoger datos sobre el mundo va a ocurrir a través de interfaces cerebro-máquina de varios tipos. Ahora se están probando y luego se aplican casi exclusivamente a personas con discapacidades, Pero al igual que ocurrió con el reconocimiento de voz por ordenador, estas interfaces se convertirán rápidamente en herramientas indispensables que todos queremos utilizar.

Cuando un mundo agitado te expone a grados de adaptación requeridos más allá de tus habilidades naturales, tienes dos opciones: rendirte, porque no eres capaz de superar esos límites o abrazar las adaptaciones a través de medios tecnológicos. A través de estos medios tecnológicos, puede extender el rango de su adaptabilidad al mundo cuya aceleración está aumentando. Como siempre se trata de un tema de fines y medios. No debes sentirte privado de tu capacidad de participar activamente sin ningún poder, puedes sentirte como un protagonista en el mundo del mañana, pero debes medir cuales son los riesgos y si moralmente estás de acuerdo.

## 2.2 Los riesgos de la IA

---

<sup>13</sup> <https://dle.rae.es/pensar>. Personalmente no creo que se pueda decir de una máquina que piensa. Pero obviamente hay otras posiciones.

<sup>14</sup>La frase «el Verbo» (una traducción de la palabra griega «Logos»)

Todo cambio significa tomar riesgos y cuanto más audaz e importante y omnicomprendida es una actividad mayor es el riesgo. En los últimos 18 años hemos tenido más cambios importantes que todos los que tuvimos anteriormente y eso supone una enorme cantidad de riesgos.

Esto es importante para comprender que ha cambiado mucho el mundo y desgraciadamente es solo cuando aparecen los peligros que los humanos nos ocupamos de la ética.

En 2017 en California (EEUU). En el inmaculado centro de conferencias de la ciudad costera de Asilomar, más de un centenar de expertos en inteligencia artificial (IA) de distintos lugares del globo están reunidos bajo una premisa aparentemente sencilla: analizar e indexar de qué forma ésta es beneficiosa para el ser humano. Los profesionales invitados que cubren áreas diversas tienen tres días por delante para debatir cómo ha de desarrollarse la IA, podría decirse que en el futuro. Pero éste, más que nunca, es sinónimo de ya, aquí y ahora.

Porque hay algo en lo que convergen intelectuales divergentes alrededor del mundo: la base sobre la que se asentará la inteligencia artificial, y también lo que supondrá para la humanidad, se está gestando mientras escribimos este artículo.

El futurista alemán Gerd Leonhard, es autor de un libro cuyo título no deja lugar a dudas: *La tecnología contra la humanidad, el choque entre el hombre y la máquina*: "Hoy es el momento en que construimos nuestro futuro y este hoy es el mayor reto al que se ha enfrentado el género humano hasta el momento, la posibilidad de una especie de superhombre que se convierte en Dios no tiene precedentes"<sup>15</sup>.

Con nuestra eterna búsqueda de libertad y felicidad. Antes de que sea demasiado tarde, hemos de detenernos y hacernos las grandes preguntas: ¿Cómo podemos acoger la tecnología sin convertirnos en ella? Cuando esto ocurra —gradualmente, luego súbitamente— la era de las máquinas creará el mayor hito de la vida humana sobre la Tierra. Estamos en uno de los últimos mapas morales que tendremos conforme la humanidad.

### 3. La ética

#### 3.1 Ética y moral

La palabra ética proviene del griego *ethikos* (“carácter”). Se trata del estudio de la moral y del accionar humano para promover los comportamientos deseables. Una sentencia ética supone la elaboración de un juicio moral y una norma que señala cómo deberían actuar los integrantes de una sociedad. “moral” viene de *mores*, costumbre y se podría ensayar una distinción entre las dos diciendo que la ética es la parte teórica que se ocupa de los comportamientos humanos aceptados o permitidos (es prescriptiva) mientras que la moral se ocupa de cómo estos principios son aceptados, incorporados o evolucionan en un determinado contexto histórico y social (es descriptiva).

---

<sup>15</sup> Gerd Leonhard, *La tecnología contra la humanidad, el choque entre el hombre y la máquina*, Kindel unlimited, 2017.

Por esa razón puede haber una ética universal, aunque las morales concretas sean particulares. Esta es una buena razón para mirar con respeto la tentativa de la Unesco de hacer para fines del año próximo un texto que sirva para poner los límites éticos a cualquier sistema inteligente.

La ética es parte de la filosofía y esta es una disciplina distinta a todas las demás porque obliga a quien la practica seriamente a exponerse fuera de todos los conocimientos ya adquiridos. La ética es una manera de sentirse bien con las propias acciones para con uno mismo y para con los demás. Como dice Kant no es una receta de felicidad, sino que es un camino para encontrarla o, como dice Bertand Russell “La ética es en origen el arte de recomendar a otros los sacrificios requeridos para la cooperación con uno mismo.”

Si alguien preguntase como resumir rápidamente las posiciones más famosas en materia ética creo que podría hacerse una breve lista que incluyera Sócrates, Platón, Aristóteles, el cristianismo. Kant, K. Marx, Pragmatismo, Utilitarismo y el Existencialismo, pero las más importantes para nosotros son dos, casi extremas: Emanuel Kant que sostiene “«Obra sólo según aquella máxima por la cual puedas querer que al mismo tiempo se convierta en ley universal. Obra como si la máxima de tu acción pudiera convertirse por tu voluntad en una ley universal de la naturaleza» (AA IV: 421)”<sup>16</sup>

El otro es Charles Ross quien dice que tenemos un deber *prima facie* de ayudar a los demás, otro de mantener nuestras promesas, otro de devolver los actos de amabilidad anteriores v otro de no defraudar a las personas que confían en nosotros. Y habla de deberes *prima facie* porque nuestros deberes cambian con la información que obtengamos<sup>17</sup>

Por cierto, que hay posiciones intermedias pero estas dos nos dan el alfa y el omega: comportarse conforme a un canon universal e invariable, Kant dice que es un imperativo categórico porque a diferencia de los preceptos hipotéticos que son condicionales y que tienen que ver con condiciones de lugar, tiempo y espacio éste es accesible a cualquier ser humano inteligente y tiene vigor siempre. Ross, por el contrario, considera que todo deber moral está sujeto a las condiciones y es más a las informaciones que tenga el sujeto agente de dichas condiciones.

Hoy con nuevas condiciones de vida, con el mundo digital y la Pandemia Byung-Chul Han: "Nosotros, felices esclavos de la pandemia digital" En una entrevista concedida en estos días el filósofo sudcoreano afirma que estamos tan entrampados en la trama de las redes sociales y la I.A. Que estamos contentos en la Pandemia porque tenemos Internet<sup>18</sup> "La Red nos controla y nos guía como si fuera una dictadura". Describe nuestra "sociedad de supervivencia" en la que aquellos que no pueden permitirse el lujo de aislarse corren un mayor riesgo de enfermarse y donde uno está obsesionado con salvar su vida, olvidando lo que hace que valga la pena vivir. El miedo crece, el estado de emergencia es visto como la nueva normalidad y los llamados "hombres fuertes" que se inspiran en modelos autocráticos como el chino son los que se benefician de ello. China corre ahora el riesgo de convertirse en

---

<sup>16</sup> Emanuel Kant, Fundamentación de la metafísica de las costumbres, No Books, Buenos Aires, 2003, versión original Grundlegung zur Metaphysik der Sitten, Riga, 1785.

<sup>17</sup> David Ross, Fundamentos de Ética, Eudeba, Buenos Aires, 2003. El original inglés es de 1930

<sup>18</sup> [https://rep.repubblica.it/pwa/robinson/2020/10/30/news/byung-chul\\_han\\_noi\\_schiavi\\_felici\\_della\\_pandemia\\_digitale\\_-272446064/?ref=nl-rep-a-bgr](https://rep.repubblica.it/pwa/robinson/2020/10/30/news/byung-chul_han_noi_schiavi_felici_della_pandemia_digitale_-272446064/?ref=nl-rep-a-bgr)

un modelo de régimen de vigilancia impulsado por una falta de humanidad alimentada por nuestro miedo a morir.

### 3.2. Siempre que aparecen riesgos se vislumbra la ética

Cada vez que los humanos nos embarcamos en nuevas acciones o somos llevados a ella por acontecimientos externos y aparecen los riesgos surgen los problemas éticos. Hay una película que recomiendo que se llama ¿Cuánto vale una vida humana?<sup>19</sup> La película cuenta un hecho real provocado a partir de la caída de las Torres gemelas el 11 de septiembre de 2001.

Luego del ataque terrorista hubo muchos muertos y desaparecidos. Pasado el estupor y en medio del dolor de los familiares de sobrevivientes comenzó a vislumbrarse otro problema: el número de los muertos, desaparecidos, auto arrojados al vacío (Falling Man) mutilados, heridos y gente que continuó muriendo por enfermedades producidas por el incendio y posterior derrumbe. Se habló de más de mil cien víctimas directas a las que se agregaron tantas otras con el paso del tiempo. EEUU es un país con muchas causas legales y con muchos abogados<sup>20</sup>.

Se calculaba unas seis mil familias con víctimas que podían demandar a las compañías aéreas y colapsar la economía norteamericana por años. El presidente Bush decide crear un fondo. Solo en el primer mes después del ataque, las pérdidas en general para la economía sumaron 123.000 millones. Las ayudas económicas a las aerolíneas fueron calculadas en 15.000 millones de dólares y el Congreso aprobó un paquete de emergencia por 40.000 millones de dólares. Decide crearse El Fondo de Compensación de Víctimas y se designa a un abogado Kenneth Feinberg para que actúe como árbitro en la fijación de las indemnizaciones y se le fija un plazo de 2 años para que recoja al menos el 80 % de los damnificados quienes aceptando la compensación se comprometen a no iniciar juicio.

Se desatan toda suerte de ambiciones abogadiles y grupos que quieren ir a juicio para obtener un enorme botín: un abogado lidera a los grupos fuertes que quieren una compensación mayor porque son más importantes y un grupo liderado por un abogado más idealista que espera algo más justo. Hay que agregar las víctimas de los otros atentados al Pentágono y al avión que no alcanzo su objetivo.

El resultado es que finalmente el 96 % de los damnificados acepto el resarcimiento del fondo. Se descomprime así la maquina explosiva que amenazaba la economía norteamericana, pero se sigue discutiendo si la solución encontrada fue aceptable moralmente. Pero el fondo debió continuar funcionando porque los damnificados posteriores aparecieron con toda suerte de enfermedades debido a la exposición o inhalación de gases durante el incendio y derrumbe<sup>21</sup>. El fondo original funcionó desde diciembre de 2001 hasta junio de 2004. El Fondo de Compensación para Víctimas inicial recibió 7.408 solicitudes para reclamos de muerte y daños personales. El fondo concedió indemnizaciones en 5.560 de esos casos.

---

<sup>19</sup> Netflix ¿Cuánto vale una vida humana?

<sup>20</sup> La American Bar Association habla de 1.330.000 abogados, pero es solo una de las Asociaciones de abogados. Según una comparación hecha en Japón hace unos años en EEUU había 11 abogados por cada ingeniero y en Japón 10 ingenieros por cada abogado.

<sup>21</sup> Enero de 2009 — La oficina del médico forense dictamina que Leon Heyward, quien murió el año anterior de linfoma y enfermedad pulmonar, es una víctima de homicidio porque quedó atrapado en la nube de polvo tóxico justo después del colapso de las torres.

El 2 de enero de 2011, el presidente Barack Obama firma la Ley James Zadroga de Salud y Compensación del 11S de 2010, reabriendo y ampliando el alcance del Fondo de Compensación para Víctimas.

Al principio se intentó encontrar una fórmula que tuviese en cuenta la edad, la profesión, los ingresos anuales y otros indicadores económicos, pero finalmente se fue imponiendo la idea de una suma única. Curiosamente las víctimas pedían respeto, pero necesariamente debía traducirse en una suma económica.<sup>22</sup>

Que se logren estos acuerdos es vital para la economía, pero ¿son justos? ¿Tienen que ver con una función moral del problema?

Se trata de un problema de números: seis mil damnificados no pueden ser comparados con un accidente por grande que sea. Se dice que en moral el número no cuenta, aprendí que en política si y comienzo a pensar que también en materia moral cuanta. En el fondo, que las víctimas reciban rápidamente ayudas para atender sus curas inmediatas o para resarcir un daño sufrido en breve tiempo o en tiempo dilatados es también una consideración ética.

#### 4. Documentos poniendo límites

La difusión de los sistemas inteligentes ha sido percibida y ya países, asociaciones, entidades universales y regionales han comenzado a redactar y difundir documentos de alarma y orientación sobre la necesidad de límites éticos.

##### 4.1 La Unión Europea

Fue la primera en plantear el problema de la inteligencia artificial no sólo desde el punto de vista ético (punto de vista que ya ha seguido el Reino Unido en 2016), sino también desde el punto de vista reglamentario, especialmente desde los mecanismos de imputación de la responsabilidad civil.

En su resolución de 16 de febrero de 2017, que contiene recomendaciones a la Comisión Europea sobre las normas de derecho civil relativas a la robótica, en las que también se tienen en cuenta los sistemas de inteligencia artificial, el Parlamento Europeo ya había indicado como temas de atención los relativos a las repercusiones éticas y sociales, subrayando que el desarrollo de la robótica y la inteligencia artificial debe tener por objeto integrar las capacidades humanas y no sustituirlas.

Esta resolución, si bien tiene por objeto proporcionar directrices en el ámbito civil, ofrece muchas ideas para comprender el alcance de los problemas jurídicos y sociales que la inteligencia artificial trae consigo.

---

<sup>22</sup>Siendo director del *Istituto per la Documentazione Giuridica* del Consejo Nacional de investigaciones italiano un grupo de investigadores creo en los años 80 del siglo pasado un Robot, que en realidad era un programa de software, para el cálculo de los daños provocados por accidentes viales. Se lo llamo en italiano *Automa infortunistico*. Al principio fu aceptado con mucha desconfianza, pero ya en los años 90 comenzó a ser consultado por abogados, fiscales y jueces y termino siendo para fines de siglo y comienzo del actual un elemento determinante pues ambas partes lo consultaban y determinaban una cifra razonable según la cual con algo más o algo menos se lograba un acuerdo.

Desde el punto de vista de la responsabilidad de los agentes inteligentes, el desafío surge cuando consideramos que el criterio tradicional de imputabilidad está vinculado a una conducta del agente sujeto ¿pone una inteligencia artificial su conducta autónoma en el mundo físico? Sin embargo, los sistemas de inteligencia artificial parecen recordar los principios de la responsabilidad del productor, que deben adaptarse al hecho de que esos sistemas asumen una capacidad de decisión autónoma, y podrían también implicar a sujetos distintos del productor únicamente, como los programadores o los que elaboran los algoritmos de decisión.

Otro criterio de imputación de responsabilidad podría encontrarse también en la culpa en la vigilancia de la persona que utiliza el sistema, cuando puede tener conocimiento de la adopción de decisiones erróneas por parte del sistema.

El documento del Parlamento Europeo enumera una serie de puntos de atención y también sugerencias para una correcta solución normativa de los mismos.

Desde un punto de vista jurídico, están apareciendo trabajos sobre algunos casos concretos: La IA y la competencia, la IA y los derechos de autor directos, la IA y las armas letales, la IA y los coches que se conducen solos, la IA y el mercado financiero, la IA y el reconocimiento facial, la IA y el mercado laboral, la IA y la asistencia sanitaria.

#### 4.2 El Vaticano

El pasado 28 de febrero se firmó en el Vaticano un documento que enfatiza los aspectos éticos de la inteligencia artificial y que coloca otra pieza en la base de la regulación. Firmaron representantes de las grandes empresas de distribución de datos Amazon, Google, Facebook, Microsoft, Apple, representantes vaticanos, del gobierno italiano y de la Unión Europea. Concretamente firmaron Paola Pisano, Ministra de Innovación Tecnológica de Italia, Monseñor Vincenzo Paglia, Presidente de la Academia Pontificia para la Vida, el Director General de Fao Dongyu Qu y los presidentes de Microsoft e IBM. David Sassoli, Presidente del Parlamento Europeo, también estuvo presente en el evento<sup>23</sup>

#### 4.3. El Parlamento Europeo (PE),

Tras una propuesta de borrador (junio 2016) y un informe razonado (febrero 2017), el PE ha aprobado un informe sobre Robótica en el que se establece un Código Ético de Conducta<sup>24</sup>.

La propuesta de resolución del PE establece que es necesario establecer “un marco de guía ético para el diseño, producción y uso de los robots” que sirva de complemento a las diferentes recomendaciones puramente legales que se realizan. Es decir, profundizar en una nueva disciplina que aborde los problemas éticos de la Inteligencia Artificial, la “roboética”.

---

<sup>23</sup>[https://www.wired.it/attualita/tech/2020/02/28/intelligenza-artificiale-etica-vaticano-microsoft-ibm/?refresh\\_ce=](https://www.wired.it/attualita/tech/2020/02/28/intelligenza-artificiale-etica-vaticano-microsoft-ibm/?refresh_ce=)  
<sup>24</sup> P8\_TA (2017)0051 Normas de Derecho civil sobre robótica Resolución del Parlamento Europeo, de 16 de febrero de 2017, con recomendaciones destinadas a la Comisión sobre normas de Derecho civil sobre robótica (2015/2103(INL))

La idea de fondo es que los estándares éticos deberían ir dirigidos a la humanidad – esto es, los diseñadores, productores y usuarios de los robots– y no tanto a los robots en sí mismos. Como indica la profesora Nathalie Nevejans, responsable del informe encargado por el propio PE, no hay que confundir la ética en la robótica con la ética en las máquinas, es decir, una ética que obligue a los propios robots a adherirse a reglas éticas. Existen varios principios fundamentales que han sido recogidos por la resolución que incluyen la protección de la dignidad humana, la privacidad, la libertad, la igualdad de acceso o los efectos sociales, entre otros.

Proteger la privacidad y el uso de datos: especialmente cuando avancen los coches autónomos, los drones, los asistentes personales o los robots de seguridad.

Protección de la humanidad ante el riesgo de manipulación por parte de los robots: Especialmente en ciertos colectivos –ancianos, niños, dependientes– que puedan generar una empatía artificial.

Evitar la disolución de los lazos sociales haciendo que los robots monopolicen, en un cierto sentido, las relaciones de determinados grupos. Igualdad de acceso al progreso en robótica: Al igual que la brecha digital, la brecha robótica puede ser esencial. Restricción del acceso a tecnologías de mejora regulando la idea del transhumanismo y la búsqueda de mejoras físicas y/o mentales

#### 4.4 La visión de los expertos: los 23 principios de la IA de Asilomar

En febrero de 1975 un grupo de genetistas se reunió en un pequeño pueblo de California, Asilomar, para decidir si su trabajo podría destruir el mundo. Estábamos al inicio de la ingeniería genética y la manipulación del ADN, y de esa reunión surgieron una serie de principios y un estricto marco ético para la biotecnología.

Cuatro décadas después –organizado por el Future of Life Institute– otro grupo de científicos se reunió en el mismo lugar y con el mismo problema. Pero esta vez se trataba de analizar las posibles consecuencias de la Inteligencia Artificial. La idea de fondo fue clara y compartida: un profundo cambio está llegando y afectará a toda la sociedad y las personas que tengan algún tipo de responsabilidad en esta transición tienen tanto una gran responsabilidad como la oportunidad de darle la mejor forma posible, se plantean una serie de principios agrupados en tres consideraciones generales: a) Principios relativos a la investigación; b) Ética y valores; y c) Temas a largo plazo.

1) Meta de la investigación: el objetivo de la investigación de la IA no debería ser crear inteligencia sin dirigir, sino inteligencia beneficiosa. 2) Financiación de la investigación: la inversión en IA debería ir acompañada de fondos para investigar en asegurar su uso beneficioso, incluyendo cuestiones espinosas sobre ciencias de la computación, economía, legislación, ética y estudios sociales. 3) Enlace entre ciencia y política: debería haber un intercambio constructivo y sano entre los investigadores de IA y los legisladores. 4) Cultura de la investigación: una cultura de cooperación, confianza y transparencia debería ser fomentada entre los investigadores y desarrolladores de IA. 5) Evitar las carreras: los equipos que estén desarrollando sistemas de IA deberían cooperar activamente para evitar chapuzas en los estándares de seguridad. 6) Seguridad: los sistemas de IA deberían ser seguros a lo

largo de su vida operativa, y verificables donde sea aplicable y posible. 7) Transparencia en los fallos: si un sistema de IA causa daño debería ser posible determinar por qué. 8) Transparencia judicial: cualquier intervención de un sistema autónomo en una decisión debería ir acompañada de una explicación satisfactoria y auditable por parte de una autoridad humana competente. 9) Responsabilidad: los diseñadores y desarrolladores de sistemas avanzados de IA son depositarios de las implicaciones morales de su uso, mal uso y acciones, con la responsabilidad y oportunidad de dar forma a dichas implicaciones. 10) Alineación de valores: los sistemas de IA altamente autónomos deberían ser diseñados para que sus metas y comportamientos puedan alinearse con los valores humanos a lo largo de sus operaciones. 11) Valores humanos: los sistemas de IA deberían ser diseñados y operados para que sean compatibles con los ideales de dignidad humana, derechos, libertades y diversidad cultural. 12) Privacidad personal: la gente debería tener el derecho de acceder, gestionar y controlar los datos que generan, dando a los sistemas de IA el poder de analizar y utilizar esa información. 13) Libertad y privacidad: la aplicación de la IA a los datos personales no puede restringir de forma poco razonable la libertad, real o sentida, de las personas. 14) Beneficio compartido: las tecnologías de IA deberían beneficiar y fortalecer a tanta gente como sea posible. 15) Prosperidad compartida: la prosperidad económica creada por la IA debería ser compartida ampliamente, para el beneficio de toda la Humanidad. 16) Control humano: los seres humanos deberían escoger cómo y si delegan decisiones a los sistemas de IA para completar objetivos escogidos previamente. 17) Sin subversión: el poder conferido por el control de sistemas de IA altamente avanzados debería respetar y mejorar, más que subvertir, los procesos sociales y cívicos de los que depende la salud de la sociedad. 18) Carrera armamentística: debería ser evitada cualquier carrera armamentística de armas autónomas letales. 19) Capacidad de precaución: al no haber consenso, deberíamos evitar las asunciones sobre los límites superiores de las futuras capacidades de la IA. 20) Importancia: la IA avanzada podría representar un profundo cambio en la historia de la vida en la Tierra, y debería ser planificada y gestionada con el cuidado y los recursos adecuados. 21) Riesgos: los riesgos asociados a los sistemas de IA, especialmente los catastróficos o existenciales, deben estar sujetos a planificación y esfuerzos de mitigación equiparables a su impacto esperado. 22) Automejora recursiva: los sistemas de IA diseñados para auto mejorarse recursivamente o auto replicarse de una forma que pudiera llevar al rápido incremento en su calidad o cantidad deben estar sujetos a unas estrictas medidas de control y seguridad.

#### 4.5. La OCDE

La OCDE y los países socios han adoptado formalmente hoy el primer conjunto de directrices de políticas intergubernamentales sobre Inteligencia Artificial (IA), y convenido en someterse a unas normas internacionales que velen por que el diseño de los sistemas de IA los haga robustos, seguros, imparciales y fiables.

Los 36 países miembros de la OCDE, junto con Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Perú y Rumanía han suscrito hoy en París los Principios de la OCDE sobre la Inteligencia Artificial en el marco de la Organización, con el lema “*La transición digital al servicio del desarrollo sostenible*”.

Los Principios, elaborados a partir de las orientaciones proporcionadas por un grupo de expertos integrado por más de 50 miembros procedentes de gobiernos, instituciones académicas, el mundo empresarial, la sociedad civil, organismos internacionales, la

comunidad tecnológica y sindicatos, comprenden cinco principios basados en valores para el despliegue responsable de una IA fiable y cinco recomendaciones en materia de políticas públicas y cooperación internacional. Su objetivo es guiar a los gobiernos, organizaciones e individuos para que, en el diseño y la gestión de los sistemas de IA, prioricen los intereses de las personas, así como garantizar que quienes diseñen y gestionen sistemas de IA respondan de su correcto funcionamiento.

«La inteligencia artificial está revolucionando nuestra forma de vivir y trabajar, y ofrece unas ventajas extraordinarias a nuestras sociedades y economías. Ahora bien, también plantea nuevos desafíos y siembra incertidumbre y preocupaciones de carácter ético. Compete, por tanto, a los gobiernos asegurarse de que el diseño de los sistemas de IA respete nuestros valores y leyes, de forma que las personas puedan confiar en que su seguridad y privacidad serán objeto de una consideración prioritaria», manifestó el Secretario General de la OCDE, Ángel Gurría. «Estos Principios constituirán un referente global para una IA confiable, de modo que las oportunidades que brinda redunden en los mejores resultados para todos», terminó de presentarlos<sup>25</sup>

#### 4.6 La Unesco

El documento que más impresiona es el de Unesco que luego de proponer un borrador al cual se podía intervenir hasta el 31 de julio de 2020 se prevé una revisión por zonas geográficas que en dos años determinará primer instrumento normativo mundial sobre la ética en la inteligencia artificial en forma de recomendación, de conformidad con la decisión adoptada por la Conferencia General de la UNESCO en su 40º período de sesiones, en noviembre de 2019.

Expertos de 155 países, sociedad civil (mediante una encuesta mundial en línea), organismos de las Naciones Unidas, grandes empresas mundiales, como Google, Facebook y Microsoft, así como el sector académico, desde la Universidad de Stanford hasta la Academia de Ciencias de China, pudieron compartir sus impresiones y enriquecer las conclusiones del proyecto.

Este proyecto de recomendación se ha enviado recientemente a los 193 Estados miembros de la UNESCO y será objeto de una serie de negociaciones con miras a su adopción definitiva en la Conferencia General de la UNESCO en noviembre de 2021.<sup>26</sup>

Será muy importante tener un sistema universal de criterios morales para juzgar las nuevas tecnologías aplicando el criterio que puede haber una ética universal basada en criterio morales universales compartidos.

La estructura del documento es de gran interés porque establece por un lado los valores que deben ser protegidos, los principios que deben ser seguidos y las políticas

---

<sup>25</sup><https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/cuarentaydospaisessadoptanlosprincipiosdelaocdesobreinteligenciaartificial.htm#:~:text=Cuarenta%20y%20dos%20pa%C3%ADses%20adoptan%20los%20Principios%20de%20la%20OCDE,Par%C3%ADs%20mayo%202022%20de%202019.&text=C2%ABLa%20inteligencia%20artificial%20est%C3%A1%20revolucionando,a%20nuestras%20sociedades%20y%20econom%C3%ADas>

<sup>26</sup> <https://es.unesco.org/news/unesco-da-gran-paso-primer-instrumento-normativo-etica-ia>

concretas que se pueden adoptar para lograr los fines perseguidos. Esta estructura se va a ver reflejada en otros instrumentos que se han dado posteriormente, como el de Colombia.

#### 4.7 Libro blanco de Inteligencia artificial de la UE

Lleva como subtítulo “sobre la inteligencia artificial - un enfoque europeo orientado a la excelencia y la confianza” es de febrero de 2020.

Dice “la Comisión respalda un enfoque basado en la regulación y en la inversión, que tiene el doble objetivo de promover la adopción de la inteligencia artificial y de abordar los riesgos vinculados a determinados usos de esta nueva tecnología. La finalidad del presente Libro Blanco es formular alternativas políticas para alcanzar estos objetivos; no aborda ni el desarrollo ni el uso de la inteligencia artificial para fines militares. La Comisión invita a los Estados miembros, a otras instituciones europeas y a todas las partes interesadas, como la industria, los interlocutores sociales, las organizaciones de la sociedad civil, los investigadores, el público general y demás personas con interés en la materia, a que presenten sus opiniones con respecto de las opciones que se muestran a continuación y a que contribuyan a la futura toma de decisiones de la Comisión en este ámbito.

Establece siete requisitos esenciales contemplados en las directrices del grupo de expertos de alto nivel, a saber: • acción y supervisión humanas; • solidez técnica y seguridad; • gestión de la privacidad y de los datos; • transparencia; • diversidad, no discriminación y equidad; • bienestar social y medioambiental; • rendición de cuentas.

Se ocupa de los riesgos que produce la IA y distingue entre riesgos bajos y altos riesgos, cosa muy elemental pero que vale la pena reivindicar: no es lo mismo usar un Sistema automático como el parquímetro para relevar una prolongación indebida del tiempo de un estacionamiento y la sentencia en un juicio penal con muchos imputados, varios delitos y particulares circunstancias.

Se hace cargo de un tema común entre informáticos y organizadores y casi desconocido para el gran público: los prejuicios (sesgos) que acompañan la toma de decisiones y como ellos se transmiten a los sistemas inteligentes que creamos <sup>27</sup>

## 5. Ética y estética

La ética tiene como objeto de estudio la moral y la acción humana, mientras que la estética es la rama de la filosofía que tiene por objeto el estudio de la esencia y la percepción de la belleza como aproximación al arte. Lo ético y estético están de muchas formas relacionados en el quehacer diario de las personas, pero el problema surge cuando en su

---

<sup>27</sup>Los prejuicios y la discriminación son riesgos inherentes a toda actividad social o económica. La toma de decisiones de las personas no es ajena al error ni a la subjetividad. No obstante, en el caso de la IA, esta misma subjetividad puede tener efectos mucho más amplios, y afectar y discriminar a numerosas personas sin que existan mecanismos como los de control social que rigen el comportamiento humano<sup>35</sup>. Puede suceder también que el sistema de IA «aprenda» mientras está funcionando. En tales casos, cuando los resultados no puedan preverse ni anticiparse en la fase de diseño, los riesgos no se deberán a fallos en el diseño original del sistema, sino más bien a las repercusiones prácticas de las correlaciones o de los modelos que reconozca el sistema en un gran conjunto de datos.

última definición de lo que es ético y estético, surge la hipocresía, la doble vara de medir y, sobre todo, manipulación mediática. Si este cóctel se adereza con la ideológica, surge un juicio popular que distingue a las personas y las clasifica, de tal modo que el buen actuar de unos se ve pésimo en otros, y todo ello desde una pretendida superioridad moral ideológica.

Así por ejemplo lo que para unos es plagiar para otros es enriquecer una obra previa, lo que para unos es estar próximos a una determinada ideología política para otros es un ejercicio de pragmatismo social y proximidad a la realidad social, lo que para unos es un error garrafal para otros es una pequeña falta excusable, lo que para unos es una broma para otros es un chiste machista, etc. Resulta asfixiante esta asimetría valorativa conductual contra la cual es muy difícil defenderse y superar. Hace poco escribí un artículo sobre la famosa frase de la mujer del César, la cual debe parecer además de ser, en el que adelantaba que la cuestión estriba en que «parecerlo» es tan subjetivo y maleable que hace que lo leve pasa por ser lo más grave, y viceversa, de tal suerte que el parecer popular sea una suerte de canon estético que se decide en lugares del poder real, que hoy por hoy es el que incide en la conformación de la opinión pública.

En la antigua Roma ya el rumor y la mentira conducían a la turba contra los cristianos acusándolos del incendio de la ciudad, y en la Rusia zarista el asesinato de Alejandro II dio lugar a una dura represión contra los judíos al atribuirles la responsabilidad del magnicidio. Resulta increíble lo fácil que es deshonar a alguien hoy en día, y lo difícil que es defenderse de los infundios y mendacidades. Cuando para zaherir a alguien es necesario acudir a la estética, pocos argumentos se tienen. Miente, que algo queda, la vieja máxima de Goebbels es el mejor retrato que existe del infundio, que a menudo se conforma con sembrar la duda sobre el difamado e ir socavando poco a poco su prestigio personal. En España utilizamos la expresión «cuando el río suena es porque agua lleva», muy usada por los difamadores para otorgar una falsa veracidad al infundio apelando a su mera existencia, aunque sean ellos mismos los que lo han creado. Todos cometemos errores, más con desigual suerte en sus consecuencias, las cuales están determinadas por lo que parece frente a lo que es.

La estética es la manifestación externa de un sentimiento, la ética el fundamento razonado y racional de los sentimientos. La ética se manifiesta a través de la estética. La estética puede ser cambiante, sus valores y apreciaciones son subjetivas y varían según la percepción del momento y contexto histórico del individuo, la ética permanece como un valor de la Humanidad.

Wittgenstein aduce que “ética y estética son lo mismo”, o literalmente “son Uno” (*sind Eins*). Lo dice en el contexto en que afirma que “la ética es trascendental”. Y esa trascendencia de la ética (y de la estética, por tanto), que también se enuncia de la lógica, remite a un “sujeto” que, sin embargo, no está más allá de los límites del mundo, sino que se determina como “un límite del mundo”. Lo trascendental es, por tanto, el límite (y el sujeto como “sujeto” de ese límite, o “sujetado” a dicho límite).

Lo ético, como lo estético, al decir de Wittgenstein, es “inexpresable”. No pueden formarse “proposiciones” al respecto. La diferencia entre ética y estética, en la medida en que son “lo mismo”, es muy sutil. Wittgenstein cita a Schiller: “Sería es la vida, alegre el arte” (*Wallensteins Lager*, Prólogo). La obra de arte sería el objeto (lo que por tal se entiende en el *Tractatus*) “visto *sub specie aeternitatis*”. A la inexpresividad y silencio de lo ético se corresponde “lo mismo” en referencia a lo estético.

“Voy a describir la experiencia de asombro ante la existencia del mundo diciendo: es la experiencia de ver el mundo como un milagro” (añade Wittgenstein en su impresionante *Conferencia sobre ética*). Y añade: “Me siento inclinado a decir que la expresión lingüística correcta del milagro de la existencia del mundo -a pesar de no ser una proposición en el lenguaje- es la existencia del lenguaje mismo”.

A diferencia del modo estético “el modo científico de ver un hecho no es el de verlo como un milagro”.

Esta gran reflexión de Wittgenstein sobre el “silencio” de lo ético (y por tanto de lo estético) debe ser retenida. Algo hay “inexpresable” que impide ajustar la “experiencia” ética (y estética) al criterio según el cual este autor determina lo que denomina “proposición” (que es la expresión manifiesta del pensamiento). Pero quizás convenga fecundar esta reflexión tan exigente del *Tractatus* con la idea plural y compleja de los múltiples “juegos lingüísticos” (acordes con sus “mundos de vida”) de que habla este gran filósofo en su obra última.

Puede, pues, entonces pensarse si no es lícito determinar alguna suerte de expresión lingüística que “proponga”, con plenitud de sentido, algo relativo a esas experiencias “trascendentales” que hace el “sujeto” en el ámbito de lo ético (y de lo estético, destacar “una” proposición (ético-ontológica), la proposición que guía y orienta al sujeto (fronterizo) en relación a su obligación, imperativa, por realizar su propia condición (de lo que resultaría, por lo demás, la “vida buena”).

La expresión simbólica tiene la peculiaridad de permitir una mostración, en el objeto, o en ciertos episodios del mundo, que, mediada por el decir o hacer simbólico, permita también que “lo ético” (y en consecuencia la proposición referida, y todo el orden de experiencia de la libertad que funda), resuene. Kant concibió esa resonancia cuando dijo que la belleza era un “símbolo moral”, y que el modo de exposición simbólico, en el que indirecta y analógicamente se exponía “lo trascendental” (y por ende también lo ético, o el uso ético de las Ideas de la razón), se distinguía de la exposición esquemática que permite la conjunción de intuición y concepto para la producción de conocimientos.

La estética, la imagen, provoca asombro. La recreación en la elaboración de la imagen, la belleza, afirma Juan Pablo II en su carta a los artistas, debe provocar asombro ante la sacralidad de la vida y del ser humano, ante las maravillas del universo. Una estética bella se sustenta en el respeto y admiración por la vida y la naturaleza; y, precisamente por eso, la comunicación de estos procesos se hace necesaria y edificante.

Entender la imagen como texto implica la necesidad de interpretar la comunicación visual. La lectura visual en procura de un contenido que va más allá de la estética tradicional es una extensión de los procesos de comunicación. Los cánones griegos de la estética pretendían normar los aspectos externos de sus obras, caracterizadas por su profundidad y contenido. El elogio de la estética a lo largo de la historia la ha apartado de esa vinculación con el contenido. Asumir y retomar nuevamente esa vinculación supone

entender no sólo la estética como texto y contenido; sino aceptar que la ética, reflejada en el contenido, forma parte de los criterios estéticos. La imagen, al proporcionar un texto, presenta las dimensiones ética y estética de la comunicación. Estas dimensiones no se asemejan a la antigua diferenciación forma y fondo, más bien generan una nueva concepción: estética y ética en la forma y estética y ética en el fondo. Resulta importante retomar las palabras que Juan Pablo II dirigió a los artistas a este respecto cuando afirma que la belleza salvará al mundo, es una invitación a gustar la vida y a soñar el futuro. La belleza se convierte en un valor de vida basado en lo bueno, en lo ético. La belleza ayudará a los hombres en su afán de construir un Reino más justo. Esta concepción está ya expresada en el Génesis, cuando se manifiesta la belleza como la expresión visible del bien.

La nueva creatividad parte de la función social que los medios de comunicación, la comunicación en general, asumen. El lenguaje audiovisual moderno debe fortalecer los procesos de educación liberadora. E, es necesario para el crecimiento personal y social del ser humano desarrollar una conciencia crítica. La comunicación ética debe desvirtuar el rol pasivo al que se ha enclaustrado al receptor para dotarlo de las herramientas necesarias para entender los lenguajes audiovisuales. Si se pretenden renovar los procesos creativos impulsando éstos desde la ética, es necesario rescatar al receptor como lector crítico de la estética.

Reinventar los procesos interactivos en los cuales el receptor se siente involucrado contribuye a fortalecer la conciencia crítica. Para lograr esta relación dinámica se hace imperioso recuperar el diálogo y el debate. La participación del receptor como integrante activo del proceso obliga no sólo a tenerlo en cuenta, sino a formarlo dentro de un sentido crítico capaz de asumir sus propias decisiones. Crear este ámbito de diálogo requiere un ejercicio ético de los procesos de comunicación, pero además implica una estética atractiva que acerque y facilite el mensaje. Este reto, construir una comunicación ética y estética que ayude a desarrollar la conciencia crítica del ser humano, se convierte en el nuevo horizonte de la comunicación evangelizadora.

La comunicación audiovisual actual ha conseguido construir un mundo ficcional paralelo al real. Los sentimientos y las sensaciones que trasmite esta vivencia ficcional son tan fuertes o más que los del mundo real. Muchos de los sueños sociales, de las aspiraciones personales que orientan a las personas nacen y se forjan dentro de estas claves. Es necesario reconocer que las ficciones se han convertido en fuente de conocimiento y enseñanza importante. Han superado su limitante de entretenimiento para convertirse en un espejo de la vida. La verosimilitud que mueve sus historias la asemeja a una ventana con vistas a la realidad. Si las historias que cuentan son válidas, permiten al espectador crecer en sus vivencias humanas. Si las historias buscan más otros intereses como la rentabilidad antes que el servir lograrán que el espectador construya un mundo paralelo ficcional que se mueve por unos parámetros no reales.

Este mundo creado por la ficción fruto de la cultura audiovisual más comercializable confunde al público. Hace creer que la superación del ser humano se sustenta en procesos cuasi mágicos, en golpes de suerte que lo pueden convertir en "presidente por accidente".

Como conclusión, y retomando la visión propositiva de la ética, se deben establecer dos líneas de trabajo:

Las instituciones formadoras deben redoblar sus esfuerzos por formar agentes sociales críticos. Es necesario crear un sentido de lectura frente a la realidad audiovisual capaz de rescatar los valores de vida frente a los valores que prometen el éxito fácil. Educar a los receptores para que sean conscientes de su papel activo a la hora de construir sociedad redundará en la mejora de los procesos de desarrollo. No sólo se beneficiará la comunicación al dirigirse a un receptor más exigente. Si los comunicadores forman unas personas con sentido crítico, la democracia, la cultura y la vida en general se consolidarán bajo los soportes de la dignidad humana.

Los productores deben recuperar la unión ético-estética de sus propuestas. Plantear trabajos audiovisuales valorados en virtud de su rentabilidad social, del conocimiento y de las pautas de vida que difunden. De este modo, el receptor podrá descubrir modelos de superación sustentados en la vivencia en valores, modelos que le permitan desarrollar sus dimensiones humanas sin mellar su dignidad.

Me contaba Luis Jiménez de Azua <sup>28</sup> que cuando le pidieron la renuncia al profesor de estética los franquistas, renunció también el profesor de ética pues dijo que no podía haber una ética sin una estética.

## 6. Conclusiones

En los momentos de riesgo de la vida humana, siempre aparece la ética. Tendría que ser más duradera, pero ahí está seguro. En los últimos 18 años se han producido más novedades en el mundo debido a las nuevas tecnologías que podemos decir que hay un mundo nuevo, y ese mundo nuevo requiere nuevamente una visión ética. Por eso el tema que parecía escondido ahora toma una dimensión universal y vivimos preguntándonos hasta donde podemos llegar con nuestros adelantos técnicos.

De algo estoy convencido: los humanos saben qué está bien y qué está mal. No de una manera categórica e instantánea, pero no necesitan consejeros externos<sup>29</sup>.

¿Qué es el mal? ¿Y su antítesis, el bien —o será al revés—? ¿De dónde procede el mal? ¿Cuándo se originó? ¿Qué sentido tiene? ¿Por qué tanto dolor y sufrimiento aparentemente inútiles? ¿Es que carece de límites espaciales y temporales el mal? ¿Por qué parece, en ocasiones, cebarse con los más justos y los inocentes —véase si no el caso paradigmático de Job—? ¿Qué implicaciones o consecuencias se derivan del mal? ¿Cómo erradicarlo de una vez por todas de la vida humana? ¿Es, acaso, esto último posible? Estas y otras muchas cuestiones de gran calado contenidas en el problema han agitado por centurias las mentes y vidas de insignes filósofos —y, por qué no decirlo, de todo ‘homo viator’ que ha transitado alguna vez por la faz de la Tierra—, que han intentado encontrar respuestas —en ocasiones de lo más variopintas, todo sea dicho— a las causas y consecuencias posibles planteadas por la diatriba de la presencia del mal en la naturaleza y en el núcleo de la vida misma.

---

<sup>28</sup> Profesor de derecho penal en la Facultad de Derecho de la Universidad de Buenos Aires que había sido vicepresidente del Congreso de los Diputados y representante de España ante la Sociedad de Naciones. Durante la dictadura franquista se exilió en Argentina

<sup>29</sup> Inclusive hay un diccionario soviético sobre el tema que dice “Se entiende por bien lo que la sociedad (clase dada) considera moral y digno de imitar. El mal tiene un significado contrario: lo inmoral, digno de condena. La interpretación metafísica de estas categorías se caracteriza por las búsquedas de los fundamentos eternos e inmutables de bien y mal”.

Estas preguntas atraviesan toda la historia de la humanidad y se la puede rastrear en cualquier cultura, incluyendo la religión. En el nuevo testamento el mal tiene un nombre: el diablo y cuentan las escrituras que lo tentó a Jesús en el Desierto. Sin embargo, esa identificación con el Maligno no es universalmente aceptada. Por lo poco que sé no aparece en el budismo y dentro de la misma iglesia católica es ejemplar la posición de algunos pensadores, por ejemplo, Leibniz: tanto en la Teodicea<sup>30</sup> con en páginas posteriores como *La presencia de Dios en el mundo*. Leibniz no creía en el Diablo, por lo tanto, define la presencia de Dios en el mundo como bondad. Y ¿la maldad? Ah, eso es la ausencia de Dios en el mundo. Y de un plumazo elimino al Diablo, no solo agrega que esos temidos pueden ser representados numéricamente con 1, bondad y 0 ausencia de Dios en el mundo.

Pero va más lejos, dice que con esos dos términos puede escribir cualquier cosa y para demostrarlo comienza a escribir con 0 y 1 los ocho primeros números de la sucesión fundamental algo así como 000011010101111100, 10000110101011001, 0110000010100, etc. Uds. Dirán, pero eso es el sistema binario, si, lo es. Y Leibniz se da cuenta de la fuerza de expresión de esos términos tanto que le escribe a un Jesuita que está en China<sup>31</sup>

El jesuita queda maravillado pues el sistema de Leibniz puede ser comparado con el IChin compuesto por 64 hexagramas con rayas completas y rayas quebradas. Los dos sistemas son binarios y de algún modo reflejan la manera de proceder de nuestra mente tanto en occidente como en oriente.

Ambos le escribieron al Papa para pedirle que autorice la enseñanza de la religión católica en China a través del I Chin. Probablemente Clemente XI quien sentencio que la religión católica debía enunciarse en latín.

Siendo tanto la moral (mores) como la ética (ethos) dos palabras que significan costumbre necesariamente tienen que adaptarse a los tiempos. Pero no es que haya una gran diferencia en el transcurso de la historia. Ciertamente la moral de un *pitcantropus erectico* es distinta de la del cosmonauta Yuri Gagarin, porque el mundo a su alrededor es distinto, pero si se va a escavar que es lo que está bien y que lo que está mal se pueden enumerar las acciones que luego las religiones habrían de establecer como virtuosas o pecaminosas.

La ética tiene que ver con valores. Nuestra vida puede ser concebida como una sucesión de elecciones (conscientes o inconscientes) que la van conformando. Una cualidad del valor es que no es un sustantivo sino un adjetivo no es independiente se habla de la belleza de una mujer o de un cuadro<sup>32</sup>, otra cualidad del valor es su polaridad: siempre que se habla de un valor se puede predicar un disvalor correspondiente: bello y feo, bueno, malo, etc. Una tercera característica es la jerarquía, pero no del valor sino como los valores se van colocando en una organización jerárquica de valores donde a veces priman algunos sobre otros, pero esto puede cambiar con el tiempo, por ejemplo, en caso de Pandemia. Generalmente se habla de una tabla de valores con algunos muy excelsos arriba otros menos fuertes debajo y así sucesivamente. Es más fácil satisfacer el valor de urbanidad que el de heroísmo. Pero el presentar la jerarquía como una tabla le da rigidez y estaticidad a

---

<sup>30</sup> Los Ensayos de Teodicea (sobre la bondad de Dios, la libertad del hombre y el origen del mal) fue la única obra filosófica que Leibniz publicó en vida, curioso dejó escritas más de veinte mil páginas vio la luz en la ciudad de Ámsterdam, en francés en el año 1710 sin mención a su autor, que sólo apareció en ediciones posteriores.

<sup>31</sup> La carta llegó en 27 días.

<sup>32</sup> Husserl llama a esta falta de sustantividad “no independecia”

la metáfora. Carlos Cossio <sup>33</sup> pensó en reemplazar la idea de tabla por una esfera que consiente tener no uno si no varios valores en determinados niveles que con el moverse de la esfera se irán desplazando según tiempos y lugares, pasando algunos valores a ocupar lugares superiores en detrimento de otros que se desplazan a lugares inferiores.

“Podría decirse que una doctrina ética es un conjunto sistematizado de proposiciones relativas a la vida moral, que recomiendan aprueba una serie de actividades humanas consideradas valiosas”<sup>34</sup>

La necesidad de controlar las decisiones producidas por la inteligencia artificial en un momento en que las soluciones digitales a los problemas sociales se invocan en toda sociedad tecnológicamente avanzada.

En la actualidad, varios países permiten a sus cuerpos de seguridad utilizar sistemas de reconocimiento facial en sus investigaciones. Los algoritmos cruzan big data e imágenes de las redes sociales de más de 3.000 millones de cuentas de todo el mundo para identificar a los sospechosos. Recientemente, escribe la Policía Metropolitana de Londres utilizó esta tecnología para identificar a 104 sospechosos, de los cuales 102 resultaron ser errores de cálculo sistemáticos.

En los países occidentales, además, estas máquinas de aprendizaje se entrenan con datos que contienen un sesgo de muestreo, es decir, que no representan con exactitud la composición étnica de la sociedad. En otras palabras, están bien entrenados para reconocer las caras de los hombres blancos, pero es mucho más probable que se equivoquen en sus predicciones con las minorías étnicas.

Por eso, el uso de sistemas de inteligencia artificial para gestionar la seguridad pública hace que un experto en derechos humanos levante las antenas: una persona puede enfrentarse a un juicio por un error de apreciación de un algoritmo.

Las maquinas son increíblemente exactas para realizar determinadas tareas que tienen que ver con el cálculo racional muchas veces mejor que un humano<sup>35</sup> pero que carece de criterios de razonabilidad y adaptación al medio y a situaciones totalmente cambiantes. Por eso es recomendable que siempre hay un humano que controle, dirija, supervise y oriente las funciones de cualquier sistema de I.A. Por más complejo que sea. En Europa, el debate está quizá más avanzado que en otros lugares. El GDPR (Reglamento General de Protección de Datos) que está en vigor en Europa prevé la posibilidad de que alguien que haya sido objeto de una decisión automatizada pueda impugnar dicha decisión. Esto es muy importante porque introduce la demanda de control humano, una demanda que está ganando terreno en muchos países y para muchas aplicaciones: financieras, para las armas autónomas, para las decisiones relativas al empleo, la carrera, la concesión de un préstamo.

---

<sup>33</sup> Carlos Cossio, tucumano, 1903 – 1987 filósofo del derecho, militante universitario reformista y profesor argentino. Dentro de sus principales obras está la concepción de la Teoría egológica del derecho.

<sup>34</sup> Antonio A. Martino *Valores ética y metaética* en A. Martino, E. Russo, L. Warat, *Temas para una filosofía jurídica*, Cooperadora de Derecho y ciencias sociales, Buenos Aires, 1974, p.119.

<sup>35</sup> Un cirujano del hospital italiano que usa Leonardo un robot para operar confesaba que la perfección de corte y la exactitud de Leonardo son incomparables con las suyas propias que dependen de estados de ánimo, situaciones sociales y aun simpatías o antipatías. Pero Leonardo no opera solo es accionado por un médico.

La matemática e informática estadounidense Cathy O'neil ya nos había advertido de estas cuestiones en su libro<sup>36</sup>. La desigualdad de género y la discriminación de las minorías étnicas ya existen en nuestra sociedad. Se necesitan sistemas de inteligencia artificial dirigidos por un algoritmo que sea demasiado rígido a la hora de aplicar lo que ha aprendido para no introducir más. Hay que promover un debate ético lo más amplio posible y reconocer su importancia. Existe una página web del gobierno australiano en la que es posible hacer propuestas que serán evaluadas por un comité de ética con vistas a redactar un documento sobre la ética de la inteligencia artificial a finales de este año. Amén de las recomendaciones que está preparando la Unesco, con sentido universal y del cual hemos escrito *supra*.

Se dice que los sistemas de inteligencia artificial que analizan los datos de comportamiento, tanto en línea como fuera de ella, hacen transparente a la ciudadanía, revelando sus hábitos y deseos inconscientes. Sin embargo, un llamamiento debe ir en la dirección opuesta, la de hacer que los sistemas de procesamiento de datos sean transparentes para los humanos: las decisiones de las máquinas no deben ni pueden tomarse en una caja negra de circuitos y bits, inaccesible al control humano. El proceso de toma de decisiones debe ser comprensible y explicable, de lo contrario sería como confiar nuestro destino a un oráculo impenetrable.

La Pandemia está siendo un acelerador constante y también nos ha impulsado a mayor uso de servicios a distancia y de I.A. Por un lado, es un bien que haya sucedido cuando ya estábamos preparados a eso, de lo contrario las Administraciones públicas y privadas habrían quedado paralizadas, imposibilitada la educación, anuladas la interacción activa, pero esa precipitación en el uso de tecnologías que aún no están suficientemente desarrolladas y mucho menos testeadas nos ha hecho embocar tiempos de improvisación con prácticas de error y acierto que han resultado, muchas veces peligrosas y otras catastróficas.

No puede prescindirse del costo humano que significa implantar sistemas de I.A. en la sociedad: en general las grandes transformaciones de la vida humana (la rueda, el vapor, la electricidad, la imprenta, etc.) llevaron siglos y varias generaciones, Internet es de 1992, la aplicación de grandes datos (Big data) de 2017 y muchos otros cambios significativos se dan en decenios o menos. Esto provoca no solo la desaparición de lugares de trabajo para los humanos sino también esfuerzos inconcebibles para estar al par con los tiempos. No hay porqué deshumanizar la I.A.

Los sistemas inteligentes están acelerando nuestros tiempos y cambiando el mundo que nos rodea: personalmente no creo que haya otra moral, pero no se puede desconocer que hay otro mundo y, por lo tanto, la ética debe explicarse y expresarse en este nuevo mundo. Un mundo nuevo acelerado por los cambios tecnológicos como nunca lo fue y a la sociedad ir adaptándose. En el último cuarto del siglo pasado todo se aceleró de manera vertiginosa: la aparición de Internet significó un antes y un después. Se puede pensar que eso sucedió porque tanto la teoría como la práctica estaban preparadas y por supuesto que es así, siempre es así, pero la aceleración que se desató fue inconmensurable con cualquier cambio del pasado.

---

<sup>36</sup> Cathy O'Neil *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*, Penguin Books Ltd, 2017

Pero no todas son malas noticias: las nuevas metodologías permiten controlar mucho más lo que hace una Administración, favorece la participación, extiende la dimensión horizontal de la burocracia que fue vertical desde Luis XIV, crea chatbots de información para el ciudadano (91), alerta sobre la controlabilidad de lo que se decide y se hace. Nacen ciudades inteligentes. ¿El gran público queda indiferente? Siempre el gran público fue indiferente. Inclusive la rebelión de las masas de orteguiana memoria fue simplemente para que los muchos obtuvieran los objetos exteriores de los pocos no para que cogobernaran. Pero los medios están, se trata de ponerlos en movimiento. Además, grandes instituciones supranacionales, estados nacionales, grandes corporaciones, iglesias, hasta la Unesco, se han percatado de los riesgos de una sociedad con sistemas inteligentes incontrolados y han comenzado a formular acuerdos, a redactar principios o pactar soluciones y vigilancias, a redactar un documento que sirva como guía mundial para vigilar el uso moral que se hace de los mismos. Es de estos días la noticia que la comisaria europea de Asuntos Digitales y Antimonopolio, Margrethe Vestager, dijo que los gigantes de la tecnología tendrán que abrir sus archivos de anuncios a los reguladores e investigadores. Es probable que la medida impacte en empresas como Alphabet, propietaria de Google, Amazon, Apple y Facebook. Sabemos que el medio no es el mensaje, pero lo limita, lo condiciona, lo coloca en otro contexto, lo puede manipular, tergiversar. Y entonces no basta con saberlo, no basta con recurrir a las soluciones éticas del pasado, no porque no sirvan sino porque hay que contextualizarlas y ello requiere que se afronte la nueva sociedad que se ha implantado.

Las ciudades digitales han incorporado una cantidad de funciones desde la multiplicación de las cámaras que permiten un mayor control contra la delincuencia hasta chatbot, como el Boti de la ciudad de Buenos Aires que da todo tipo de información sobre las cosas que normalmente se necesitan: estacionamientos, farmacias abiertas, el restaurante más próximo, la comisaria o el hospital. Y sistemas de resolución pacífica de conflictos totalmente digitalizados, como existe en muchas ciudades, incluyendo Buenos Aires<sup>37</sup>. Además, un *Buenos Aires elije* que permite sugerir temas que si obtienen un cierto número de votos son necesariamente tratados por la Legislatura de la ciudad como un proyecto cualquiera. Esto es la ciudadanía puede presentar proyectos de ley y ser aprobados o al menos tratados por la Legislatura.

La economía tiene que rendirle cuentas a la moral, no es posible que solo las leyes del mercado decidan la falta de trabajo de millones de personas, la hambruna y la angustia de muchos. Con cada situación, con cada mundo que se va creando con los sistemas inteligentes es necesario plantearse hasta donde las acciones que se generan y las consecuencias que derivan pueden traer felicidad o dolor a los seres humanos que serán implicados por las mismas porque, en definitiva, como decía Kant: la moral no es realmente la doctrina de cómo hacernos felices, sino de cómo debemos hacernos dignos de la felicidad.

Se trata siempre de un tema de valores de fines y medios y la frase “el fin justifica los medios” históricamente carece de sentido.<sup>38</sup> Sucede que si se quiere un fin fuertemente se termina aceptando los medios, pero el medio puede polucionar, envenenar de tal manera el fin de hacerlo inaceptable. Por eso se debe tener en cuenta desde el punto de vista moral

---

<sup>37</sup> Con un dato interesante: el año pasado las causas de litigio por relaciones familiares disminuyeron de un 37% en parte debido a este sistema de resolución automática o digital.

<sup>38</sup> Es curioso la frase “el fin justifica los medios” atribuida a Nicolo Macchiavelli en el *Principe*, en realidad es un comentario que hizo Napoleon, luego de su lectura.

que cuando se acepta un fin los medios para llegar a él no deben tornarlo indeseable. Torturar a un maestro para aprender todo lo que él sabe es un ejemplo muy claro y burdo, pero la vida real está llena de claros oscuros, es allí donde se debe indagar sobre los medios y no basta con decir “no lo sabía”.<sup>39</sup>

Cualquier persona razonable puede averiguar los peligros que implica cualquier uso de cualquier cosa. Es tan obvio esto que se empiezan a distinguir entre riesgos pequeños, medianos y grandes como quiso Alan Kay quien el autor de la famosa frase “la mejor manera de predecir el futuro es inventándolo”. La discusión sobre el uso de un medio que tiene poco riesgo pero que podría este aumentar, si los beneficios son enormes, pero no se trata solo de un tema de cantidad.

Grandes instituciones supranacionales, estados nacionales, grandes corporaciones, iglesias, hasta la Unesco, se han percatado de los riesgos de una sociedad con sistemas inteligentes incontrolados y han comenzado a formular acuerdos, a redactar principios o pactar soluciones y vigilancias, a redactar un documento que sirva como guía mundial para vigilar el uso moral que se hace de los mismos.

Sabemos que el medio no es el mensaje,<sup>40</sup> pero lo limita, lo condiciona, lo coloca en otro contexto, lo puede manipular, tergiversar. Y entonces no basta con saberlo, no basta con recurrir a las soluciones éticas del pasado, no porque no sirvan sino porque hay que contextualizarlas y ello requiere que se afronte la nueva sociedad que se ha implantado.

A Al-Juarismi<sup>41</sup> “le preguntaron por el valor del ser humano y así respondió. Si tiene ética, entonces su valor es 1. Si además es inteligente, agréguele un cero y su valor será 10. Si también es rico, súmele otro cero y será 100. Si por sobre todo eso, es además, una bella persona, agréguele otro cero y su valor será 1000. Pero si pierde el 1, que corresponde a la ética, perderá todo su valor, pues sólo quedarán los ceros”.

Sin valores éticos ni principios sólidos, no quedará nada. Solamente delincuentes corruptos y malas personas.

---

<sup>39</sup> *Un trabajo extraordinario sobre el tema lo realizó Giuliano Pontara, Se il fine giustifichi i mezzi, Il Mulino, 1974, con un prologo de Norberto Bobbio.*

<sup>40</sup> Marshall McLuhan ‘, *Understanding Media: The Extensions of Man*, 1964 “el medio es el mensaje”

<sup>41</sup> Abu Abdallah Muḥammad ibn Mūsā al-Jwārizmī, conocido generalmente como al-Juarismi, y latinizado antiguamente como Algorithmi, fue un matemático, astrónomo y geógrafo persa. Fue astrónomo y jefe de la Biblioteca de la Casa de la Sabiduría de Bagdad, alrededor de 820

# INDUSTRIA 4.0 COMPLEJIDAD Y SISTEMAS CIBERFÍSICOS

Orlando Micolini y Carlos A. Barto

## Resumen

El objetivo de este ensayo es plantear la necesidad de los principios de la complejidad y los sistemas ciberfísicos para abordar la Industria 4.0 y confrontarlos con los paradigmas tradicionales de la ingeniería. En primera instancia se ofrece una perspectiva de lo que se entiende por certidumbre y complejidad, seguida de un breve abordaje sobre la autoorganización. Posteriormente se contrastan los procesos de ingeniería normal con los nuevos paradigmas que consideran a los sistemas complejos. A continuación, se establece una relación entre los sistemas ciberfísicos que son parte del núcleo de la industria 4.0, y finalmente se describen los retos y desafíos de la industria 4.0 en relación con los sistemas ciberfísicos. En conclusión, el documento integra el área de la complejidad y los sistemas siberfísicos que llevan a repensar los procesos de ingeniería, específicamente el proceso de diseño, desde una perspectiva compleja y transdisciplinar.

## Abstract

This essay aims to raise the need for the principles of complexity and cyber-physical systems to address Industry 4.0 and to confront them with traditional engineering paradigms. First, an overview of what is meant by certainty and complexity is given, followed by a brief discussion of self-organization. Subsequently, normal engineering processes are contrasted with the new paradigms that consider complex systems. Next, a relationship is established between the cyber-physical systems that are part of the core of Industry 4.0, and finally, the challenges of Industry 4.0 in relation to cyber-physical systems are described. In conclusion, the paper integrates the area of complexity and cyber-physical systems that guides to rethink of engineering processes, specifically the design process, from a complex and transdisciplinary perspective.

## Palabras Clave

Industria 4.0, Complejidad, Sistemas Ciberfísicos

## Introducción

La historia humana es a menudo vista como una marcha inexorable hacia una mayor complejidad en ideas, artefactos, educación, política, economía, tecnología y en la estructura social. Aunque no tenemos un conocimiento preciso de los tiempos antiguos, es razonable pensar que hoy en día nos enfrentamos a un mundo de mayor complejidad que el habitante promedio de hace una centuria. Por esto los paradigmas tecnológicos y de la condición de causalidad lineal necesitan revisión y reflexión, dado que tienden a fomentar las jerarquías de mando y control centralizado por lo que reducen la creatividad y la innovación. Mientras que los sistemas distribuidos propician que las organizaciones vean nuestro mundo turbulento como una colección de ecosistemas en evolución. Para adaptarnos y prosperar, en ese mundo, debemos ser ágiles y considerar las nociones de complejidad como una

riqueza de conocimientos y orientación, esto recompensará a los primeros que se esfuercen por hacerlo.

El mundo se ha movido radicalmente hacia una mayor complejidad en los últimos dos siglos. Nos hemos mudado de carretas y correos a aviones e Internet. Además de crear artefactos icónicos, como: aviones, automóviles, ordenadores, smartphone, etc. Este cambio ha tenido un profundo efecto en el alcance de la experiencia al crear sistemas masivos, conectados y multicapas, como: redes de tráfico, redes eléctricas, mercados, corporaciones multinacionales que desafían la comprensión analítica y parecen tener vida propia.

Aquí es donde la complejidad entra realmente en la Ingeniería. Más aun, el aumento de la capacidad, y a través de su diversidad también su complejidad, en órdenes de magnitud mayores que las acumuladas a lo largo del resto de la historia humana. La complejidad de los sistemas que se están diseñando abruma nuestra capacidad para comprenderlos o controlarlos.

### **El fin de la certidumbre**

En los siglos XIX y XX muchos investigadores (entre otros: Lord Kelvin, Albert Michelson) pensaban que, sobre la base de siglos de progreso en el pensamiento ordenado y reduccionista, acelerado por la revolución newtoniana, que las leyes y los hechos de la ciencia fundamentales más importantes habían sido descubiertos, y estaban firmemente establecidas por lo que la posibilidad de ser suplantadas era remota.

Pero hoy es posible construir sistemas que antes nadie imaginaba que fuera posible, el diseño de estos y fuerzas sociales, políticas y empresariales impulsan cambios que desembocan en el aumento de la complejidad y nuevos paradigmas<sup>1</sup> tecnológicos, esto ha ocurrido recientemente y ha desatado retos fundamentales a las conceptualizaciones lineales.

No estamos fuera de los sistemas que estudiamos, sino que somos una parte cada vez más esencial de los patrones complejos en los que vivimos: nuestras percepciones, pensamientos, creencias y formas de razonar impactan con fuerza en la vida humana.

Sin embargo, hasta la fecha, la inclusión en los currículos de ingeniería del pensamiento de la complejidad para el diseño e innovación sigue siendo inusual y rara vez es abordado. Aun así, el enfoque de la complejidad es esencial para enfrentar entornos volátiles, inciertos, complejos y ambiguos como los que caracterizan el trabajo de desarrollo frente a las explicaciones mono-causales basadas en la elección racional, especificadas de arriba abajo que se reconocen cada vez más como inadecuadas o, al menos, insuficientes.

Dado que, las razones de un fenómeno definido a alto nivel pueden no ser simples de explicar por sus propiedades de bajo nivel. Las causas, pueden ser varias, desde la mera ignorancia de las relaciones ocultas hasta la incapacidad teórica. Pero sean cuales sean estas causas, una persistente cuestión sigue siendo la de la emergencia.

---

<sup>1</sup> **Paradigma:** conjunto de prácticas y saberes que definen una disciplina. Se refiere a ideas, pensamientos, opiniones, creencias, puntos de vista, percepciones, etcétera, que se asumen como verdaderos o falsos y se toman como "modelo".

## Complejidad

Para abordar esta cuestión de manera explícita, es útil examinar con mayor detalle cómo se caracterizan los sistemas que estamos considerando.

Los sistemas complejos son redes formadas por una serie de componentes que interactúan entre sí, normalmente de forma no lineal, para formar un todo. Los sistemas complejos pueden surgir y evolucionar a través de la autoorganización, de modo que no sean completamente regulares ni completamente aleatorios, lo que permite el desarrollo de un comportamiento emergente a escalas macroscópicas. Normalmente, se caracterizan por componentes autónomos básicos que son agentes individuales del sistema, con reglas locales que se aplican a cada agente:

- Los agentes colaboran en el sistema complejo porque “*ven*” que la cooperación es beneficiosa para ellos, están interconectados y son interdependientes.
- Los agentes son heterogéneos y tienen variedad
- El sistema es adaptable, se ajusta para garantizar la continuidad del funcionamiento.
- Este comportamiento, de los agentes, resulta en valor añadido sobre la suma de las partes.
- No tienen una autoridad centralizadora, es auto organizado, ante nuevos escenarios en el sistema toman nuevas formas.
- Los agentes interactúan constantemente y están en movimiento en respuesta con el medio ambiente, por lo que su comportamiento es emergente a nivel macro y surge de las acciones internas de los agentes.
- No están diseñados a partir de una especificación conocida en cambio progresan en complejidad tornándose más grande y sofisticados con el tiempo. El comportamiento no es fácil de deducir o inferir únicamente a partir de la estructura.
- Sus límites son difíciles de precisar.
- En la complejidad el lema no es el reduccionismo sino la emergencia.

Aunque una amplia variedad de sistemas es compleja, algunos más o menos que otros dependiendo del rango de características que poseen, todos exhiben emergencia y autoorganización. Otras características de los sistemas complejos son que cambian con el tiempo, con frecuencia de manera no lineal, y rara vez (aunque a veces) alcanzan el equilibrio a largo plazo.

Podemos señalar que un microprocesador, con sus millones de componentes electrónicos, es un sistema extremadamente complicado. Lo mismo puede decirse de la economía mundial. Tanto el microprocesador como la economía son construcciones humanas, pero existe claramente una diferencia significativa entre ellas.

El complicado microprocesador fue cuidadosamente diseñado y probado por un equipo de ingenieros que colocaron cada componente electrónico en su lugar con la máxima precisión, y por eso funciona.

Pero nadie diseñó la economía del mundo, y nadie puede pretender entenderla o controlarla completamente ¡y sin embargo funciona!, mientras que el microprocesador sólo puede escalarse mediante un cuidadoso rediseño de ingenieros competentes, por otra parte, la economía crece (y se encoge) sin control explícito por parte de un solo agente, no obstante, muestra pocos signos de tensión catastrófica.

Además, el funcionamiento satisfactorio de un microprocesador depende en gran medida del funcionamiento satisfactorio de cada uno de sus subcomponentes básicos, mientras que la eficiencia de la economía es más resistente a los cambios de escenario y los fallos a nivel de sus elementos constitutivos.

### **Autoorganización**

Mirando alrededor, observamos muchos sistemas con las mismas características, como: redes de comunicación, redes de transporte, ciudades, sociedades, mercados, organismos, colonias de insectos, ecosistemas, etc.

¿Qué es lo común en estos sistemas y los hace diferente de los aviones y las computadoras?

La primera percepción fundamental que proporcionan los sistemas complejos autoorganizados es que un orden no trivial a gran escala puede ser producido por procesos simples que involucran interacciones que operan localmente sobre agentes o componentes simples.

¿Cómo es que emerge la adaptación (u homeostasis)?

Ésta emerge de la comunicación, la cooperación, la especialización, la organización espacial y temporal y la reproducción. Esto se puede observar en distintos niveles y entornos, por ejemplo: las células se especializan, se adaptan y se reproducen como lo hacen los organismos más grandes. La comunicación y la cooperación tienen lugar en todos los niveles, desde el agente hasta el nivel del sistema. Por lo que un sistema adaptativo complejo es una colectividad compleja y autosimilar de agentes adaptativos que interactúan. Los Sistemas Adaptativos Complejos se caracterizan por un alto grado de capacidad adaptativa, lo que les confiere resiliencia frente a perturbaciones.

¿Y se puede aprender algo de ellos que nos ayude a construir no sólo mejores aviones y computadoras, sino también robots más inteligentes, edificios más seguros, sistemas de respuesta a desastres más eficaces y mejores sondas espaciales?

Dado que observamos que la autoorganización es tan común en la naturaleza, nos preguntamos ¿Qué rol desempeña en la ingeniería?

La respuesta a esto es que, mientras que muchos sistemas naturales muestran alguna forma de autoorganización, casi ninguno de los sistemas diseñados explícitamente por los humanos lo hacen. Por lo tanto, el esfuerzo por comprender y construir sistemas autoorganizados es, en cierto sentido, un intento de crear sistemas análogos a los "naturales", con todas las fortalezas profundas y debilidades sutiles de estos sistemas. Esto no sólo promete un salto en el alcance de la ingeniería, sino que también permitiría una mejor comprensión de aquellos sistemas humanos -tales como las economías y las ciudades- que demuestran autoorganización. Estos últimos son, por lo tanto, una fuente de ideas sobre la autoorganización como un objetivo para la aplicación de estas ideas.

Estas ideas modifican el supuesto simplista, pero común de que la causa y el efecto deben operar a la misma escala. Con el tiempo, es posible que el efecto de las interacciones locales se agregue para crear un orden a gran escala.

De manera más general, podemos preguntarnos cómo podemos entender la relación de la estructura con la función en la naturaleza a través de conceptos de ingeniería, en beneficio de la sociedad.

## El Proceso de Ingeniería Normal

Podemos definir "ingeniería clásica o normal" como el proceso de diseño y optimización dentro de una metodología y reglas establecidas; cuyo objetivo es producir sistemas eficientes y confiables que cumplan con las limitaciones y estándares de desempeño preestablecidos en situaciones conocidas. Se trata fundamentalmente de un proceso orientado a la consecución de objetivos, que busca alcanzar fines específicos conocidos utilizando medios bien entendidos.

El proceso de ingeniería clásica puede ser visto como:

- **Especificaciones funcionales:** representan una predicción de cómo y en qué circunstancias el sistema tendrá que funcionar
- **Diseño:** Este es el componente principal del proceso de ingeniería, el sistema se diseña cuidadosamente en términos de sus componentes
- **Pruebas y Validación:** Una vez diseñado, el sistema se prueba bajo un conjunto de condiciones diseñadas para imitar la realidad, para asegurar que funcione según sea necesario
- **Fabricación:** Una vez que el sistema ha sido diseñado y probado, se fabrican copias exactas de él en cantidades apropiadas. Los usuarios de estas copias las compran con la expectativa de que cada copia funcione exactamente como el diseño original y satisfaga la funcionalidad deseada.

En cada paso, se especifica la funcionalidad deseada de nivel superior antes de diseñar la implementación de nivel inferior, de modo que el proceso de diseño se reduce a una serie de actividades de resolución de problemas. Como se mencionó anteriormente, esto corresponde a una visión intrínseca de la ingeniería para la resolución de problemas, donde el objetivo es producir herramientas para propósitos específicos predefinidos cuya utilidad se considera dada. Esto puede contrastarse con lo que podría llamarse una visión "metautilitaria" en la que la utilidad misma está sujeta a una reevaluación a medida que el entorno cambia y que lo que se puede hacer cambia debido a innovaciones o percepciones imprevistas, incluida la autoorganización ascendente que genera fenómenos emergentes inesperados.

También es oportuno acotar que si bien la ingeniería normal es rutinaria, exige habilidad y se beneficia del talento. Al diseñar una página web, por ejemplo, la estética suele ser tan importante como la funcionalidad, este aspecto se refiere a una forma de artesanía. Que a diferencia de la a cerámica y la carpintería, esta funciona con medios abstractos (los ceros y unos de la informática). Pero al igual que la artesanía manual admite maestría y estética.

### Qué ofrece el enfoque clásico

La ingeniería clásica, ha tenido una superación notable y es responsable de prácticamente todos los logros tecnológicos que vemos a nuestro alrededor, dado que confiere varios atributos cruciales a los sistemas, que son:

134. **Estabilidad:** El rendimiento del sistema es insensible a las variaciones preespecificadas en los parámetros del sistema y el entorno externo.
135. **Previsibilidad:** El sistema funciona de manera predecible.
136. **Fiabilidad:** La capacidad del sistema para realizar una función requerida bajo condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado.
137. **Transparencia:** Todas las estructuras y procesos del sistema pueden describirse explícitamente.

138. **Controlabilidad:** El proceso de diseño y el sistema pueden ser controlados directamente.

### **Un nuevo paradigma para los sistemas complejos de ingeniería**

La ingeniería clásica requiere la predicción del entorno en el que operará el sistema, las condiciones a las que se enfrentará y las tareas que deberá realizar.

Los diseñadores determinan no sólo el comportamiento o la funcionalidad del sistema, sino también el proceso o procedimiento mediante el cual se logra, por lo que:

139. El rendimiento final del sistema depende totalmente del conocimiento, competencia, habilidad e imaginación de los diseñadores.
140. Todos los circuitos están cerrados, considerando todas las contingencias.

Por lo que cabe hacerse la siguiente pregunta: ¿Cuánto tiempo puede seguir funcionando al mismo nivel que cuando era nuevo? Esta pregunta no tiene la misma respuesta en todos los casos, por lo que consideramos las siguientes situaciones:

141. Los sistemas que realizan tareas previsibles (Una CPU, un lavavajillas, un automóvil o un avión),
142. Los sistemas que funcionan en entornos complejos, abiertos y con contingencias imprevisibles (una red de computadoras, una mascota, una economía o una red social.).

En este último caso debemos tener en cuenta la autoorganización y/o la emergencia. Para estos, ha llegado un punto en el que los métodos clásicos ya no son viables por razones de interdependencia y complejidad de los sistemas.

Si consideramos la afirmación de Kuhn, que las revoluciones científicas ocurren solo después de que una acumulación de observaciones anómalas pone fin al viejo paradigma y surge un nuevo paradigma que reemplaza al viejo lo que crea una crisis. Mientras que Edward Lee sostiene que estas no son las fuerzas que impulsan los cambios de paradigma en la tecnología. Que estos cambios son motivados por la complejidad de los sistemas dado que abruma la capacidad humana para comprenderlos o controlarlos, en segundo lugar, hoy hacemos sistemas o artefactos que antes nadie imaginaba como posibles y finalmente que fuerzas sociales, políticas y empresariales complejas pueden impulsar cambios de paradigma en la tecnología.

Al mismo tiempo, es cada vez más claro que los sistemas complejos existentes, tanto naturales como artificiales, manejan estos problemas con facilidad y eficiencia. Los sistemas complejos, una vez entendidos, prometen un repertorio más amplio de paradigmas necesarios para diseñar grandes sistemas que puedan funcionar en entornos complejos y dinámicos.

Si consideramos entorno altamente incierto (complejo), se garantiza que para la planificación de la respuesta no podemos anticipar todas las posibilidades que se pueden encontrar, lo que posiblemente lo conduce al fracaso. Los problemas de ingeniería que pertenecen a esta categoría son: los sistemas que requiera del apoyo a la toma de decisiones en tiempo real, las comunicaciones, el control, sistemas ciberfísicos, entre otros.

Esto es reconocer que sólo los sistemas complejos pueden realizar tareas complejas.

Para sostener el aumento de la complejidad en internet podemos hacer las siguientes consideraciones:

- Que la ley de Moore se refiere solo a computadoras individuales en chips individuales mientras que hoy nos encontramos con un aumento extraordinario de dispositivos informáticos que están interconectados a través de redes (IoT).
- Que la regla de Robert Metcalfe (1980), que postuló que el valor de una red de telecomunicaciones es proporcional al cuadrado del número de usuarios conectados del sistema ( $n^2$ );
- Si relacionamos el valor con la capacidad, podemos inferir que la capacidad de una red es aproximadamente proporcional al cuadrado del número de dispositivos conectados
- Que la complejidad y la capacidad están relacionadas
- Si consideramos la idea de que cada nodo cambia su comportamiento por distintas razones

Podemos esperar una aceleración de la complejidad en las redes en los próximos años, incluso si la ley de Moore se detiene. La aglomeración de la creciente complejidad no parece estar disminuyendo, por lo que es complejo predecir el comportamiento de la red en un momento futuro.

### **La lógica de la ingeniería de sistemas complejos**

Diferencia entre los paradigmas clásicos y complejos de la ingeniería

- La ingeniería de sistemas complejos principalmente no busca producir un comportamiento predecible y estable dentro de situaciones cuidadosamente restringidas, sino más bien obtener sistemas capaces de adaptación a los cambios y novedades, incluso a lo inesperado.
- Conceptos clave que subyacen a este enfoque son:
  1. **Acción local, consecuencias globales.**
  2. **Expectativa de lo inesperado**
  3. **La singularidad inherente de los sistemas individuales**
  4. **Redundancia y degeneración a todos los niveles**
  5. **Utilización de módulos fuera de etiqueta**
  6. **Aprovechamiento oportunista de la explosión combinatoria.**
  7. **Robustez por estructura.**

### **Sistemas ciberfísicos (CPS)**

En 2006, Helen Gill de la Fundación Nacional de Ciencias de EE. UU. Acuñó el término "sistemas ciberfísicos" (CPS) para aquellos sistemas que combinan computación, redes y dinámica física. Se trata de un enfoque transdisciplinario, y particularmente a los sistemas de ingeniería que exploran normativas, sistemas y sus estructuras, limitaciones y posibilidades que tienen una estrecha combinación y coordinación entre computación, redes y dinámica física. Como disciplina, CPS es una disciplina de ingeniería, centrada en la tecnología, con una base sólida en abstracciones matemáticas. Estos sistemas poseen circuitos realimentados de información de lazo cerrado; sistemas que captan información de su medio, a fin de mantener su conducta o comportamiento adecuado para el logro de metas. Los CPS son relevantes, para la ingeniería, prevemos que los sistemas CPS del mañana superarán con creces a los de hoy en términos de adaptabilidad, autonomía,

eficiencia, funcionalidad, confiabilidad, seguridad y usabilidad (Andrey Kolmogorov). Estos sistemas son capaces de recibir, almacenar y procesar información y utilizarla para su control “, es una coordinación estrecha y coordinada entre los artefactos computacionales y físicos, es "el arte de la organización eficaz". Se trata del punto de convergencia entre la computación, las comunicaciones y el control. La Ilustración 3, muestra la relación en un CPS entre la Comunicación, el Control y la Computación.

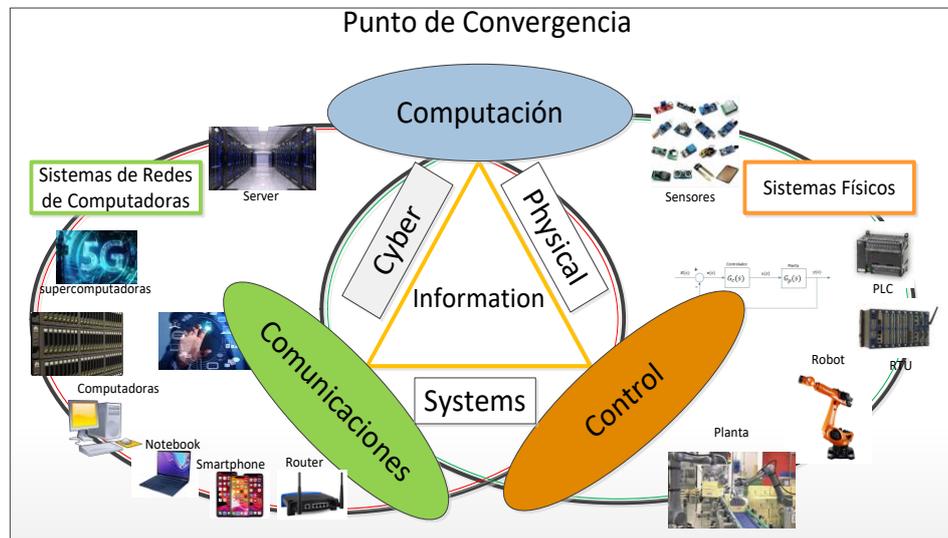


Ilustración 3: Relación en un CPS entre la Comunicación, el Control y la Computación

### Requerimientos de los CPS

Los CPS transforman el mundo de hoy, por lo que deben cumplir requisitos, tales como:

- responder más rápidamente (por ejemplo: prevención de colisiones autónoma).
- ser más precisos (por ejemplo: cirugía robótica y fabricación de nano-tolerancia).
- trabajar en entornos peligrosos o inaccesibles (por ejemplo: sistemas autónomos para búsqueda y rescate, extinción de incendios y exploración).
- proporcionar coordinación distribuida a gran escala (por ejemplo: control de tráfico automatizado).
- ser altamente eficientes (por ejemplo: edificios de energía neta cero).
- aumentar las capacidades humanas.
- ser adaptivos.

### Características

Las principales características que los destacan son: capacidad cibernética en cada componente físico; alto grado de automatización; trabajo en red a múltiples escalas; integración a múltiples escalas temporales y espaciales; y reorganización / reconfiguración dinámica

Ejemplo de CPS se ve en la red eléctrica moderna; el parque eólico y el parque solar constituyen los recursos físicos, y los datos se recopilan de los sensores de estos recursos,

que constituyen la parte cibernética del sistema. También, se requiere de un canal de comunicación que se utiliza para monitorear y controlar los recursos físicos.

Una aeronave también puede verse como un CPS cuyos sensores inteligentes y su sistema de red le permiten monitorear su operación mientras se coordina con las estaciones terrestres.

### **Desafíos**

Debido a la estrecha interacción entre los mundos cibernético y físico, existen varios desafíos en el diseño de los CPS.

- Para permitir una integración adecuada, los eventos en el mundo físico deben reflejarse en el mundo cibernético, y la decisión tomada por el mundo cibernético debe comunicarse al mundo físico.
- Ambas acciones deben realizarse con precisión y de manera oportuna.
- Por lo tanto, los CPS deben coordinarse entre sistemas heterogéneos, que consisten en dispositivos informáticos, sensores y actuadores distribuidos.
- Los sensores y actuadores proporcionan una interfaz entre los mundos físico y cibernético, y para adaptarse al contexto físico y cibernético que varía en el tiempo, se requieren políticas efectivas.
- Por tanto, el estudio y diseño de los CPS son de suma importancia.

### **Retos de la Industria 4.0 en relación a los Sistemas Ciberfísicos**

Nos podemos hacer las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las tecnologías de vanguardia que introducen los sistemas ciberfísicos como base de la Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0)?
- ¿Cuáles son las actividades que permiten desarrollar conceptos nuevos e innovadores que combinan los sistemas de detección, actuación, comunicación y procesamiento, incluyendo la integración de sistemas inteligentes y la convergencia de sistemas abordando una gran escala de aplicaciones?
- ¿Qué atención hay que prestar a sectores industriales como la energía, los edificios, la movilidad, la salud, el desarrollo urbano, con el fin de realizar hardware, software y algoritmos novedosos?

Es importante reconocer que en el desarrollo de CPS industriales es necesario considerar la creciente complejidad de las interacciones, la importancia de garantizar la seguridad durante su funcionamiento, la protección de la información confidencial, la integridad de los recursos básicos de información, así como el bloqueo de ataques y la prevención de posibles amenazas.

La importancia del análisis de la dirección en la enseñanza de la ingeniería que ayuda a la persona que la ha recibido a crear CPS.

### **Desafíos de integración y convergencia de los CPS**

Dado que los CPS son integraciones de computación, redes y procesos físicos. Las computadoras y las redes integradas monitorean y controlan los procesos físicos, con retroalimentación donde los procesos físicos afectan los cálculos y viceversa. La tecnología

se basa en las disciplinas establecidas, pero ahora integra computadoras y software embebido en dispositivos cuya misión principal no es solo la computación, como automóviles, juguetes, dispositivos médicos e instrumentos científicos; sino que los CPS integran dinámicamente los procesos físicos con los del software y las redes. Hoy se están realizando importantes inversiones en todo el mundo para desarrollar esta tecnología, dado que el potencial económico y social de estos sistemas es mucho mayor de lo que se ha realizado. Esta disciplina está en plena consolidación.

Considere el diseño mantenimiento y operación de un avión comercial. Estos sistemas requieren del uso intensivo de software con cientos de microprocesadores que administran funciones que incluyen control de vuelo (fly-by-wire), aviónica (totalmente configurable por software), pantallas para el sistema EFB (bolsa de vuelo electrónica, dispositivo de gestión de información electrónico que ayuda a los tripulantes a realizar las tareas de gestión del vuelo), sistema que guía las órdenes del piloto dentro de un marco de parámetros de funcionamiento calculados por ordenador, controlar el tren de aterrizaje, administración de presurización en la cabina y el flujo de aire y distribución de energía eléctrica, etc. Tal avión es un sistema mucho más complejo que, digamos, un centro de datos que maneja páginas de Facebook. Dado que, este último, trata del procesamiento de información que puede operar casi por completo dentro de los modelos y paradigmas de la informática.

El diseño de un avión combina modelos de ingeniería electrónica, eléctrica, aeronáutica, mecánica, estructural e informática. En tal sistema, los componentes electrónicos interactúan con la dinámica de vuelo de la ingeniería aeronáutica bajo el control de un sistema de software (informática) que ejecuta un sistema de control de retroalimentación (ingeniería de control). La especialización que es estándar en cada ingeniería hoy en día se convierte en un obstáculo porque los modelos y paradigmas desarrollados en cada una de estas disciplinas son inconmensurables.

El desafío intelectual de CPS se trata de la intersección, no de la unión, de lo físico y lo cibernético. Esta intersección combina modelos y métodos de ingeniería, como: mecánica, ambiental, civil, eléctrica, biomédica, química, aeronáutica e industrial con los modelos y métodos de la informática y la computación. La investigación de CPS se fundamenta en que estos modelos y métodos no se combinan fácilmente y, en consecuencia, los CPS constituye una nueva disciplina de ingeniería que demanda sus propios modelos y métodos.

Hemos hablado de diferentes tecnologías que convergen y se apalancan, esencialmente estas son las que muestra en Ilustración 4 (fuente:

<https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps/>).

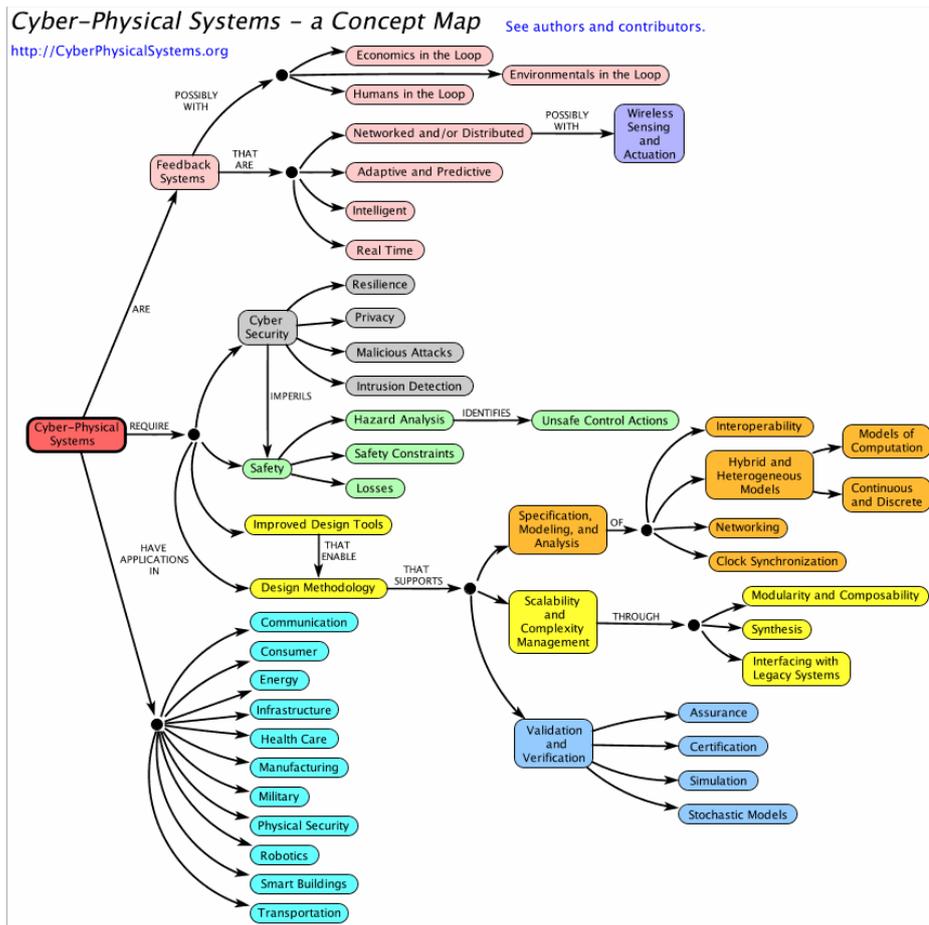


Ilustración 4: Mapa conceptual de los Sistemas Ciberfísicos

## Conclusión

Los cambios de paradigma en la ingeniería son provocados esencialmente por crisis provocadas por complejidad y oportunidad, las que hoy son provocadas por los avances en la tecnología digital. Principalmente por la creciente interconexión de los dispositivos digitales, la penetración de las computadoras en todos los ámbitos lo que ha provocado unas convergencias de tecnologías.

Podemos considerar que hoy sobresalen al menos dos crisis: de oportunidad y de complejidad.

La crisis de oportunidad es provocada por el aumento de la interconexión de dispositivos, volúmenes de datos sobre todo los ámbitos y los individuos interconectados. Por ejemplo, Amazon realiza un seguimiento cuidadoso de nuestras compras y construyen modelos de nuestro comportamiento y utilizan esos modelos para anticipar e incentivar nuestras necesidades, por lo tanto, puede ser invasivo. Estas decisiones no las toman los humanos, están hechas por computadoras. Las computadoras ejecutan algoritmos de aprendizaje automático que construyen modelos al observar nuestro comportamiento y luego refinan el modelo en función de dicho comportamiento para luego calcular y controlar nuestro comportamiento.

Este ejemplo presenta una contradicción que es común en las aplicaciones de inteligencia artificial. Aunque probablemente comprendamos que la compañía intente ayudarnos; sin

embargo, a muchos de nosotros nos parecerá inapropiado que haya construido un modelo probabilístico de nuestro comportamiento. Del mismo modo, es posible que nos guste que una aplicación como Google Maps, en nuestro teléfono, nos indique que farmacia hay cerca, y al mismo tiempo nos moleste saber que, como consecuencia de usar la aplicación, que las computadoras de Google saben y rastrean dónde estamos.

Recordemos que la regla de Metcalfe, que se basa en la observación de que los datos agregados son más valiosos que los datos aislados. Si estas compañías comparten y agregan datos recopilados sobre nosotros sus conocimientos se habrán multiplicado. Mientras que, las leyes de privacidad destinadas a protegernos del uso indebido de esos datos son ineficaces porque estas leyes simplemente han resultado en un aluvión de letra pequeña que todas las organizaciones nos piden consintamos, sabiendo que no las leeremos. Una vez más, nos enfrentamos a requisitos contradictorios.

Por los que creemos que hoy en día existe una crisis de oportunidad al convertir las fuentes de datos en conocimientos al mismo tiempo hacer un uso eficaz de ellos, mientras se garantiza la privacidad o al menos preservar la confianza pública de que no se abusará de los conocimientos obtenido de nuestros datos. Claramente, este problema no es solo técnico. Esta situación requiere de un cambio de paradigma.

Mientras que la crisis provocada por la complejidad creciente es debida esencialmente a la combinación de sistemas de ingeniería que tradicionalmente han utilizado diferentes tipos de modelos para gestionar su propia complejidad.

Anteriormente, hemos considerado la complejidad emergente en el diseño provocado por la interrelación de diferentes sistemas en una aeronave; aún más, podemos agregar que la FAA (de los EEUU) prohíbe el uso de lenguajes orientados a objetos, por ejemplo, en software de seguridad crítica. Incluso las interrupciones, que son la forma estándar en que todos los microprocesadores modernos ingresan y envían datos al mundo exterior, están prohibidas. Sin duda, las interrupciones crean muchos problemas sutiles de software. Ya Edsger Dijkstra lo anticipo, enunciando:

*“La computadora moderna es más difícil de manejar que la vieja. En primer lugar, tenemos las interrupciones, que ocurren en momentos impredecibles e irreproducibles; comparado con la vieja máquina secuencial que pretendía ser un autómata completamente determinista, esto ha sido un cambio dramático, y las canas de muchos programadores de sistemas dan testimonio del hecho de que no deberíamos hablar a la ligera sobre los problemas lógicos creados por esa característica.”*

*Actualmente las interrupciones son el principal método de E / S y son fundamentales en todos los sistemas operativos modernos. Por lo que los fabricantes de aviones están excluidos de los últimos 40 años de avances en los sistemas operativos.*

Podemos también observar, que cualquier fábrica moderna está controlada por computadora y, de manera similar, es un sistema crítico para la seguridad donde el requerimiento de tiempo real es esencial. Por ejemplo, los automóviles autónomos, los drones y pilotos automáticos aeronáuticos, los dispositivos médicos e instrumentos científicos asistidos, los sistemas de robótica de cualquier tecnología y la domótica, también todos aquellos que se integran en infraestructuras o fábricas inteligentes

A pesar de los avances en CPS, la crisis de complejidad persiste para estos como la crisis de oportunidades persiste para la ciencia de datos. Todas las técnicas que conocemos hoy en día tienen limitaciones, y comprender estas limitaciones es esencial para una comprensión

completa de las revoluciones tecnológicas, siendo un caso particular la obsolescencia tecnológica, muy diferente de la clásica obsolescencia física. Estas limitaciones son las oportunidades para la innovación y el progreso.

Finalmente incluimos la bibliografía en la cual está basado este documento y seguidamente la bibliografía que es posible tomar como base para el desarrollo de la temática en el currículum de la ingeniería en computación y otras.

### **Bibliografía**

K. Kumar, D. Zindani, and J. P. Davim, *Design Thinking to Digital Thinking*: Springer, 2020.

A. Downey, *Think complexity: complexity science and computational modeling*: " O'Reilly Media, Inc.", 2018.

S. A. Sheard and A. Mostashari, "Principles of complex systems for systems engineering," *Systems Engineering*, vol. 12, pp. 295-311, 2009.

A. A. Mina, D. Braha, and Y. Bar-Yam, "Complex engineered systems: A new paradigm," in *Complex engineered systems*, ed: Springer, 2006, pp. 1-21.

D. Braha, N. Suh, S. Eppinger, M. Caramanis, and D. Frey, "Complex engineered systems," in *Unifying Themes in Complex Systems*, ed: Springer, 2006, pp. 227-274.

N. T. Nassim, "el Cisne negro. el impacto de lo altamente improbable," Editorial Paidós, 2008.

E. A. Lee and S. A. Seshia, *Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach*: Lee & Seshia, 2017.

E. A. Lee, *Plato and the Nerd: The Creative Partnership of Humans and Technology*: MIT Press, 2017.

M. Törngren and U. Sellgren, "Complexity challenges in the development of cyber-physical systems," in *Principles of Modeling*, ed: Springer, 2018, pp. 478-503.

S. Wolfram, *Cellular automata and complexity: collected papers*: CRC Press, 2018.

H. Sayama, *Introduction to the modeling and analysis of complex systems*: Open SUNY Textbooks, 2015.

# ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LOS MODELOS DINÁMICOS DE PROCESOS DEL COMPORTAMIENTO SOCIAL DURANTE LA PANDEMIA COVID19

JULIÁN ANTONIO PUCHETA<sup>1</sup>

## Resumen

Se presenta un análisis de cambios de modelos de procesos dinámicos descritos por variables que representan al comportamiento social desde el punto de vista de la movilidad de las personas y del de índices de la economía en el marco de la pandemia Covid19. Aquí se emplea como proxy del comportamiento social a la movilidad descrita por Google y Apple para relacionarlo con la evolución temporal de los infectados diarios de Covid19. Además, se emplea como proxy del proceso socioeconómico a índices relacionados con la economía global, donde se analiza uno de evolución ascendente (MSFT Microsoft) y otro con evolución estanca (WTI precio del galón de petróleo) y se relaciona con los contagios diarios de Covid19. En este último caso es complejo detectar una región de influencia dada la cantidad de orígenes que tienen los índices seleccionados, pero sí se puede estudiar el impacto del primer pico en China y la posterior evolución en el mundo, en especial en nuestro país y en Holanda. Se concluye que el modelo subyacente ha cambiado en etapas distintas, según los meses del año y que luego de mediados de 2021 está en camino de alcanzarse un equilibrio inestable, con el agregado de las nuevas posibilidades que da el proceso de vacunación y las normas de convivencia social.

## Abstract

In this paper, an analysis of changes in models of dynamic processes described by variables that represent social behavior from the point of view of people's mobility and economic indices in the framework of the Covid19 pandemic is presented. Here it is used as a proxy of social behavior the mobility described by Google and Apple to relate it to the temporal evolution of daily infected with Covid19. In addition, indices related to the global economy are used as a proxy for the socio-economic process, where one of ascending evolution (MSFT, Microsoft) and another with stagnant evolution (WTI, oil gallon price) are analyzed and are also related to daily infections of Covid19. In the latter case, it is complex to detect a region of influence given the various origins that the selected indices have, but it is possible to study the impact of the first peak in China and the subsequent evolution in the world, especially in our country and the Netherlands.

In the latter case, it is complex to detect a region of influence given the various origins that the selected indices have, but it is possible to study the impact of the first peak in China and the subsequent evolution in the world, specifically both in our country and in the Netherlands. It can be concluded that the underlying model has changed by time stages, depending on the months of the year and that after mid-2021 an unstable equilibrium is on track, with the addition of new possibilities provided by the vaccination process and new social behavior regulations.

## Palabras Clave

Modelos dinámicos, Análisis estadístico, identificación de sistemas, procesos estocásticos, Inteligencia artificial, Covid19.

---

<sup>1</sup>Doctor en Ingeniería. Ingeniero en Electrónica. Profesor en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. jpucheta@unc.edu.ar.

## Introducción

Se presenta un análisis de procesos dinámicos descritos por variables que representan al comportamiento social desde el punto de vista de la movilidad de las personas y del de índices de la economía. Aquí se emplea como proxy del comportamiento social a la movilidad descrita por Google [1] y Apple [2] para relacionarlo con la evolución temporal de los infectados diarios de Covid19. Además, se emplea como proxy del proceso socio-económico a índices relacionados con la economía global, donde se analiza uno de evolución ascendente que es el MSFT de Microsoft [3] y Nasdaq [4] y otro con evolución estanca como el WTI, West Texas Intermediate que da el precio del galón de petróleo [5] y se los relaciona con los contagios diarios de Covid19 [6]. En este último caso es complejo detectar una región de influencia dada la cantidad de orígenes que tienen los índices seleccionados, pero sí se puede estudiar el impacto del primer pico en China y la posterior evolución en el mundo, en especial en nuestro país y en Holanda. Puede observarse que la evolución ha sido en etapas distintas, según los meses del año y que luego de mediados de 2021 está en camino de alcanzarse un equilibrio inestable, con el agregado de las nuevas posibilidades que da el proceso de vacunación y las normas de convivencia social.

En la primera etapa de evolución de la pandemia, que incluye el intervalo temporal desde puede el 1° de enero del 2020 hasta el 30 de abril del 2020, donde gigantes tecnológicas se involucraron en la divulgación de información de movilidad de las personas, como Apple a partir del 17 de enero de 2020 y Google a partir del 15 de febrero de 2020. La protagonista pasa a ser la movilidad porque los Gobiernos implementaron reglas de movilidad estrictas para causas no esenciales. En ese período la movilidad disminuye a un mínimo. Mientras tanto, las empresas de laboratorios empezaron a coordinar esfuerzos y a principios de Mayo 2020 se hizo el primer llamado público a voluntarios que quieran probar la vacuna por parte de Pfizer. Aquí termina la primera etapa de evolución de la pandemia ya que, al aparecer, dada la expectativa por la vacuna, las variables socioeconómicas comenzaron a tener un comportamiento no correlacionado con los contagios. La fecha es el 1 de Mayo de 2020, para el fin de la primera etapa y el inicio de la segunda etapa de estudio. La segunda etapa es de transición y puede verse que hasta el 1 de julio de 2020 el comportamiento de las variables responde a un modelo errático ya que hay un aumento de casos dado el inicio del verano europeo.

En septiembre de 2020 empieza una segunda ola de contagios en Europa, que tuvo menos impacto que la primera etapa en las variables socioeconómicas estudiadas. No obstante, se evidencia el cambio de la movilidad de las personas para el caso de Holanda que disminuyó respecto de la primera etapa. Aquí se puede ver que el Gobierno empezó a tomar medidas, para el caso de Holanda y el 1 de Diciembre se llegó a un mínimo local de contagios.

En julio de 2021 se tiene una nueva ola de contagios para Holanda, con nuevas variantes de Covid19, y el desarrollo de las variables socio económicas se ubicaron en caminos de normalizarse. Se observa que no hay impacto negativo en la economía y que la movilidad de las personas en Argentina evoluciono en el sentido de la normalidad. En lo que respecta a movilidad, en Holanda en la categoría de Parques se nota una merma respecto del período anterior, y en Transporte público. Analizando los contagios y la movilidad en Argentina, se

puede pensar que la movilidad está muy cerca de la normalidad, aunque los contagios no sean totalmente suprimidos.

### El modelado de procesos dinámicos

Un modelo es una representación simplificada de la realidad, y su utilidad es la posibilidad de tomar decisiones para que el proceso evolucione de una manera deseada. En el modelado se propone establecer la evolución de la pandemia a lo largo del tiempo y del espacio mediante relaciones matemáticas. Cada modelo tendrá en cuenta variables que son relevantes para la representación de la evolución de la pandemia, con el fin de establecer mecanismos que puedan mitigar el daño que ésta provoca en la sociedad. Las epidemias han sido objeto de estudio de la ciencia al menos desde 1760, cuando apareció la propuesta de Bernoulli [7]. Luego, en 1911 se aplicó dicha propuesta para la prevención de la malaria [8]. A partir de 1927 se empezó a tomar el tópico desde la matemática por parte de Kermack [9] que formalizó resultados.

### Modelo susceptibles-infectados-recuperados

Un modelo pionero es el de Kermack [9] orientado a la pandemia Covid 19 [10]. El modelo propone transiciones de un grupo susceptible a un grupo infectado, y de éste a un grupo recuperado,

$$S_n \rightarrow I_n \rightarrow R_n \quad (1)$$

y propone que la suma de las funciones temporales sea una constante,

$$S_n + I_n + R_n = N \quad (2)$$

donde N es el total de la población, y es constante,  $S_n$  representa a los susceptibles,  $I_n$  a los infectados,  $R_n$  a los recuperados, asumiendo que para  $n=0$  se tiene que  $S_0>0$ ,  $I_0>0$  y  $R_0=0$ .

El ritmo de cambio de los susceptibles dada la transición a infectados, depende del tamaño de los susceptibles y del tamaño de los infectados [11], siendo los recuperados una fracción de los infectados. Así, para el caso de la evolución temporal diaria, es decir, cada 24 horas, se tiene el sistema de ecuaciones no lineales,

$$\begin{cases} S_{n+1} = S_n - \beta S_n I_n \\ I_{n+1} = (1 + \beta S_n - \gamma) I_n \\ R_{n+1} = R_n + \gamma I_n \end{cases} \quad (3)$$

con las condiciones iniciales para  $t=0$  se tiene que  $S_0>0$ ,  $I_0>0$  y  $R_0=0$ . Además,  $\beta$  es la velocidad de infección, que se define como el cociente

$$\beta = \frac{\kappa p}{N} \quad (4)$$

siendo  $\kappa$  el promedio de contactos por persona por unidad de tiempo y  $p$  es la probabilidad de contagio. A su vez,  $\gamma$  es la velocidad de remoción y se define como

$$\gamma = \frac{1}{D} \quad (5)$$

siendo  $D$  la duración media de la enfermedad.

Como acciones posibles para mitigar la pandemia, se puede observar que  $I_n$  crece si  $\beta S - \gamma > 0$ . Entonces, definiendo

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma} S = S \frac{\kappa}{N} p D \quad (6)$$

se busca que  $R_0 \leq 1$ . Para ello, se pueden realizar diversas acciones, como por ejemplo reducir  $D$  con vacunas antivirales, y reducir la transmisibilidad  $p$  con medidas de higiene, barbijos, e incluso reducir  $\kappa$  con medidas de aislamiento entre los individuos.

En las Fig. 1 y Fig. 2 se muestran evoluciones obtenidas mediante este modelo. Nótese que para los parámetros establecidos el resultado a los 200 días es diferente para cada caso. Para el primero, la totalidad de la población susceptible se termina infectando, y para el segundo se infecta hasta el 70% del total. Aquí se evidencia que modificando el distanciamiento o agregando vacunas se puede evitar la multiplicación de los infectados.

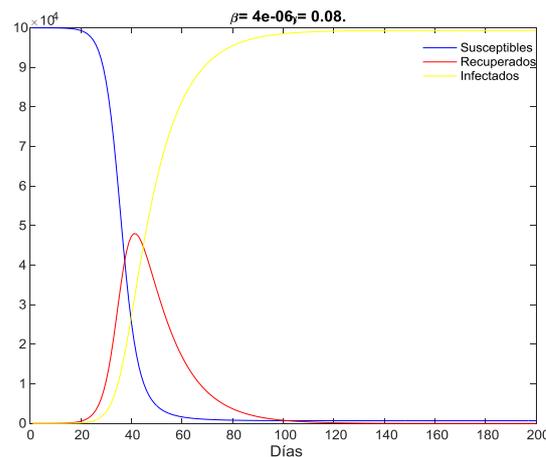


Fig. 1. Modelo SIR de pandemias. En 200 todos los Susceptibles se infectan.

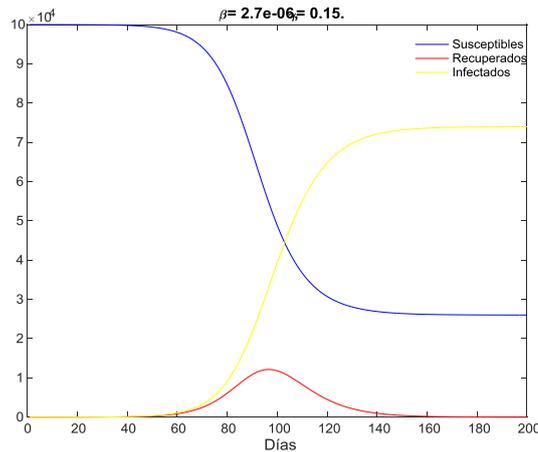


Fig. 2. Modelo SIR donde se infectan algunos de los susceptibles.

A este modelo se le han agregado diferentes variables, como por ejemplo sujetos Expuestos, Fallecidos, testeos de sujetos asintomáticos y presintomáticos como en [12] donde se muestra su uso para un control automático de la pandemia. Incluso hay modelos que incorporan inteligencia artificial para realizar las proyecciones de los infectados y el paso a la nueva normalidad [13], y también sobre la situación global automatizada con un día de latencia en la actualización del tipo mapa de color [14], y de evolución temporal [15].

### Modelos dinámicos con entradas

Se emplea la técnica de modelado para procesos dinámicos, y se comparan los diferentes resultados a partir de su desempeño y de su evidencia según la función de correlación. Así, la conducta de las personas debería modificarse a partir de que se conoció la pandemia, con intención de mitigar los contagios que a su vez están relacionados con la cantidad de fallecidos. Por lo tanto, se estableció un patrón de conducta a partir de las indicaciones de movilidad [15], que debería cambiar respecto del paso de los días en el sentido de minimizar los contagios para evidenciar una conducta social virtuosa. Por lo que se mide la diferencia entre el proceso real y el modelo, que debería ser siempre negativo, si se define como

$$e_{n+h} = \frac{(\hat{y}_{n+h} - y_{n+h})}{y_{n+h}} 100 \quad (7)$$

donde se está comparando la salida real medida del proceso respecto de la salida entregada por el modelo dinámico a intervalos  $h$ , ajustada hasta un determinado tiempo, como máximo  $n$ . Si la conducta social fuese acorde al COVID 19, entonces el valor siempre debería ser positivo y cuanto más grande será, mayor es la mejora en la conducta social. Si se inspeccionan los datos, se evidencia que no hay rasgos de estacionaridad, pero sí de estacionalidad, tendencia y dinámica de las mediciones respecto de las entradas medidas, para lo cual se van a implementar técnicas para esta clase de procesos [16].

## Propuesta para el modelado dinámico

El esquema de modelado empleado aquí es bien conocido en la literatura [16], y consiste en tomar las entradas y salidas para el cálculo como se muestra en la Fig. 3. Aquí se propone el uso del ajuste por el gradiente descendente, donde el error de ajuste está dado por

$$e_n = y_n - f(\theta_n, x_n, y_{n-1}) = y_n - \hat{y}_n \quad (8)$$

donde  $y_n$  es el valor actual de la salida del proceso,  $f(\cdot)$  indica la salida del modelo que se está ajustando con parámetros  $\theta_n$  a definir en cantidad y en valores, y  $x_n$  es el valor de la entrada actual. Se asume que se dispone de un total de datos muestreados con intervalos unitarios desde 0 hasta  $n$ .

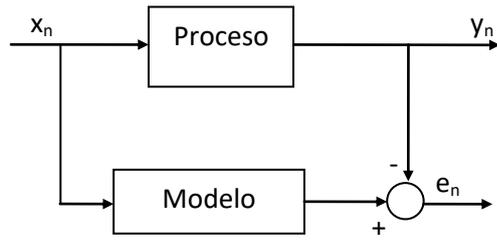


Fig. 3. Representación de la señal de error entre un proceso real y su modelo. El modelo tiene parámetros que son ajustados mediante la secuencia de error.

Aquí  $f(\cdot)$  se implementa como un sistema dinámico lineal, definiendo al vector de los parámetros  $\theta$  como

$$\theta^T = [b_1 \quad b_2 \quad \Lambda \quad b_{o_x} \quad a_2 \quad a_3 \quad \Lambda \quad a_{o_y}] \quad (9)$$

se define que la función  $f(\cdot)$  es

$$\hat{y}_n(\theta, x_n, y_{n-1}) = b_1 x_n + b_2 x_{n-1} + \dots + b_{o_x} x_{n-o_x+1} - a_2 y_{n-1} - \dots - a_{o_y} y_{n-o_y+1} \quad (10)$$

donde los parámetros serán ajustados en el sentido de minimizar el error (8) en donde interviene la medición actual  $y_n$ , que no aparece en (10).

Para el ajuste de dichos parámetros, se define el funcional a minimizar respecto de los parámetros como

$$J_n = \frac{1}{2} \sum_{n=n_i}^{n_f} e_n^2 = \frac{1}{2} \sum_{n=n_i}^{n_f} \{y_n - f(\theta, x_n, y_{n-1})\}^2 \quad (11)$$

donde están definidos dos tiempos específicos de ajuste que son  $n_i$  y  $n_f$  como tiempo inicial y tiempo final para el ajuste del modelo. Este ajuste se realiza una vez por cada iteración, durante la que se hará variar cada componente de  $\theta$ . Los parámetros serán ajustados durante una etapa de tiempo, pero luego quedarán fijos para decidir la conducta social definido en (7).

Para ajustar los parámetros del modelo, que son las componentes  $a_i$  y  $b_i$  del vector  $\theta$ , se procede empleando el método del gradiente descendente [16]. Para ello, se minimiza a (11) respecto de dichas componentes hallando sus derivadas parciales, por lo tanto

$$\frac{\partial J_n}{\partial b_i} = e_n x_{n-i+1}, i = 1, 2, \dots, o_x. \quad (12)$$

$$\frac{\partial J_n}{\partial a_i} = -e_n y_{n-i+1}, i = 2, 3, \dots, o_y. \quad (13)$$

Con estos incrementos se definen las cantidades del algoritmo de gradiente descendente para el instante  $n$ , como

$$b_i := b_i + \gamma e_n x_{n-i+1}, i = 1, 2, \dots, o_x. \quad (14)$$

$$a_i := a_i - \gamma e_n y_{n-i+1}, i = 2, 3, \dots, o_y. \quad (15)$$

con el valor de  $\gamma$  como ganancia de ajuste o paso de ajuste. Con las variables  $\{x, y\}$  correctamente condicionadas, este valor puede estar en el orden de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  para los casos aquí estudiados. Por lo tanto, dados un conjunto de datos de mediciones hasta un instante  $n$ ,  $\{x_n, y_n\}$  se requiere elegir la relación de correspondencia entre la entrada  $x$  y la salida  $y$  de tal manera que el modelo muestre máxima evidencia. Aquí la evidencia va a definirse en el sentido de la correlación [16]. El algoritmo expresado en (14) (15) depende de las condiciones iniciales de  $\theta$ , ya que es incremental, por lo que se proponen valores de orden reducido en dimensión y luego se procede a aumentar los valores de  $o_x, o_y$  si el modelo no muestra la suficiente evidencia. El criterio para medir la evidencia del modelo con el vector  $\theta$  actual consiste en estudiar el comportamiento del error definido como

$$e_{cm} = \frac{1}{n_f - n_i} \sum_{n=n_i}^{n_f} e_n^2 \quad (16)$$

denominado error cuadrático medio del ajuste, y cambia luego de cada iteración del algoritmo. Por lo tanto, cuando la pendiente de cambio indica que  $e_{cm}$  ha aumentado de una iteración a otra, es porque el ajuste ya ha mostrado una evidencia de modelo desmejorada y corresponde detener las iteraciones. A partir de esa instancia, se puede realizar el cálculo con el modelo obtenido y la entrada  $x_n$ , con valores de  $n$  superiores al empleado en el cálculo del modelo, para comparar con los datos reales como indica (7). El criterio de evidencia de modelo aquí empleado es el de la intercorrelación entrada salida [17] detallado en las expresiones (17) y (18). Así, el modelo obtenido que presente la función de intercorrelación similar a la que presentan los datos originales, será el modelo elegido.

### Métrica para evidencia de modelo

Se emplea el cálculo de la función de intercorrelación. Se supone disponible una determinada cantidad de datos observados, por lo que existirán errores debido a que la cantidad es finita. Recordar que para el cálculo de la función de intercorrelación, se parte de las expresiones

$$\phi_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)y(t+\tau)dt \quad (17)$$

y para intervalos discretos unitarios se tiene

$$\phi_{xy}(j) = \frac{1}{N-j} \sum_{i=0}^{N-j} x(i)y(i+j) \quad (18)$$

con  $j=0, 1, \dots, M$ , y además  $i=0, 1, \dots, N$ . donde  $M$  es el número de puntos de la función intercorrelación,  $N$  es el número de puntos medidos de la señal. Cabe aclarar que normalmente  $M$  es al menos la mitad de  $N$ , ya que la función intercorrelación está definida para  $N$  mucho mayor que  $M$  para asegurar una buena representación [17]. Aún más, si se requiere hallar la relación de correspondencia entre la entrada y la salida en el dominio de la frecuencia, como para representar la respuesta de un diagrama de Bode magnitud en decibels y fase en grados, la cantidad de datos debe ser al menos diez veces la cantidad de valores que se van a representar en dicho diagrama [16].

### Implementación en modelado de pandemia

Se emplearon los algoritmos propuestos para modelar la evolución de los contagios diarios, y ha ido cambiando a medida que pasaron las etapas. En las primeras dos etapas, es decir desde enero hasta julio del 2020, se obtuvieron evoluciones como se muestra en las Fig. 4, Fig. 5 y Fig. 6.

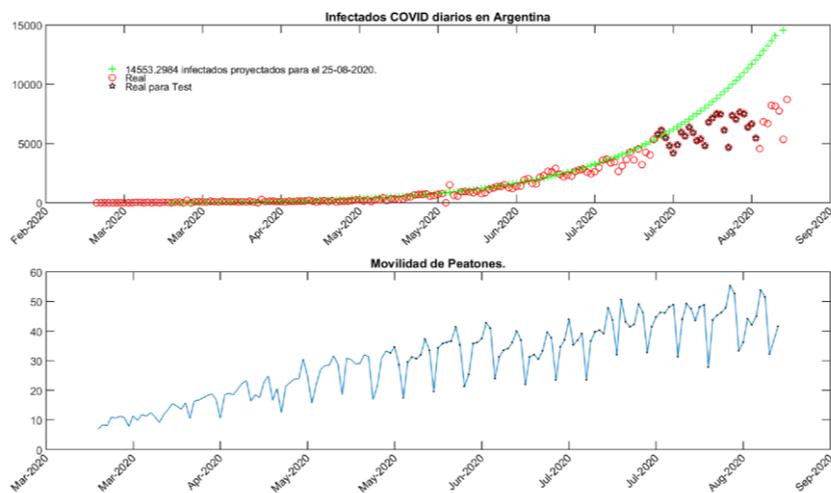


Fig. 4. Modelado del proceso de infectados en la primera etapa de la pandemia, para la república Argentina.

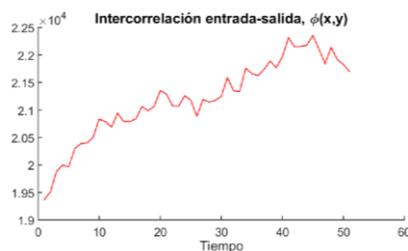


Fig. 5. Firma de la función intercorrelación entre la entrada y la salida definida en (18).

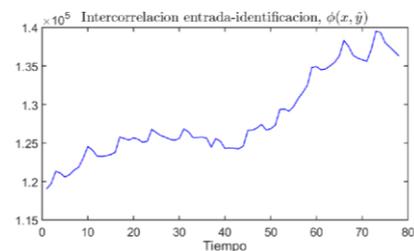


Fig. 6. Función intercorrelación entre la salida del modelo y la entrada medida definida en (18).

En la Fig. 4 se puede observar que, en la mitad del tiempo de evolución seleccionado, el modelo presenta un quiebre, y es evidenciado en las funciones de intercorrelación mostradas en las figuras Fig. 5 y Fig. 6. Ambas funciones tienen la misma firma, y a la

mitad evidencian un cambio estructural ya que hay un cambio de tendencia. No obstante, la evidencia mostrada en la Fig. 6 tiene un orden superior su escala, lo que indica que el modelo está generando una tendencia en exceso respecto de la de los datos.

Por otra parte, si se analiza el comportamiento desde inicios de abril 2020 hasta fines de septiembre de 2020 para Argentina, se tiene un modelo de comportamiento entre la movilidad de las personas y los contagios diarios con el desempeño que se observa en las figuras Fig. 8 y Fig. 10 evaluado en la segunda etapa de la pandemia.

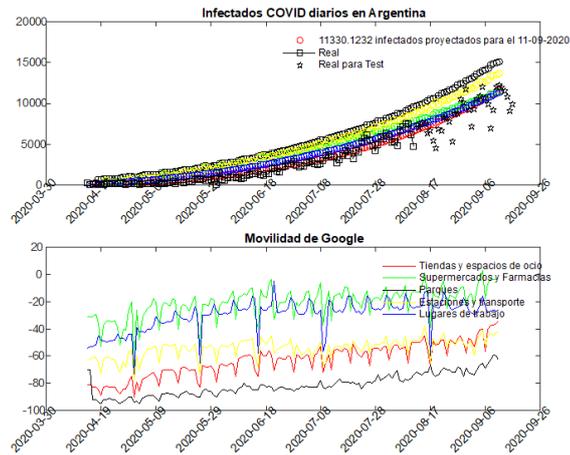


Fig. 7. Evolución de los valores dinámicos del cálculo según la movilidad de Google. Los datos empleados en el cálculo se indican con cuadrados y finalizan el 11 de agosto de 2020. Desde el 12 de agosto en adelante se hace empleo del modelo ajustado hasta fines de setiembre.

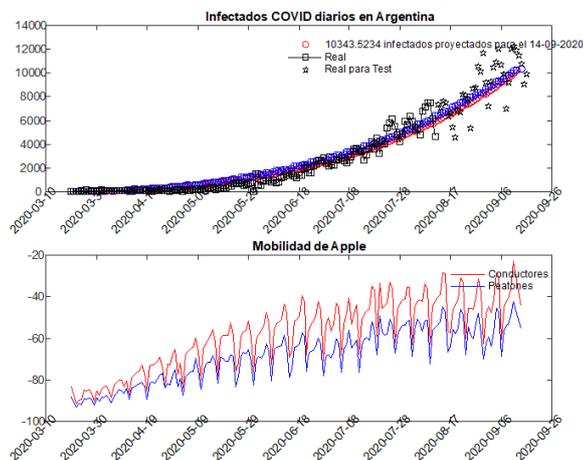


Fig. 8. Evolución de los valores dinámicos del cálculo según la movilidad de Apple. Los datos empleados en el cálculo se indican con cuadrados y finalizan el 11 de agosto de 2020. Desde el 12 de agosto en adelante se hace empleo del modelo ajustado hasta fines de setiembre.

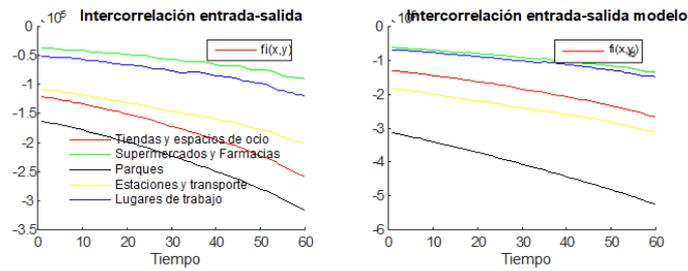


Fig. 9. Funciones de intercorrelación entre las variables dato y las identificadas empleando movilidad de Google [1].

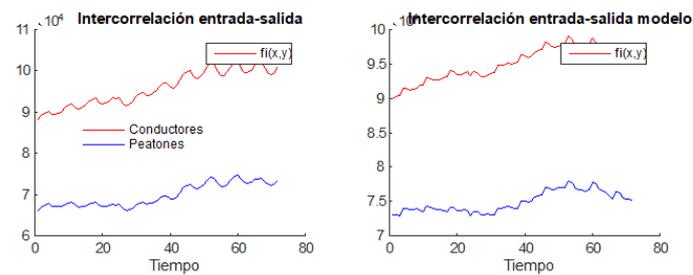


Fig. 10. Funciones de intercorrelación entre las variables dato y las identificadas empleando movilidad de Apple [2].

Para evaluar el desempeño en la tercera etapa de la pandemia, se puede observar el caso de las gráficas de las figuras Fig. 11 y Fig. 12. Nótese el desplazamiento de los datos de validación y test respecto de los datos medidos. Para ambos casos la diferencia evidencia que el modelo de representación debe cambiar sus períodos de influencia, hacia la cuarta etapa de la pandemia.

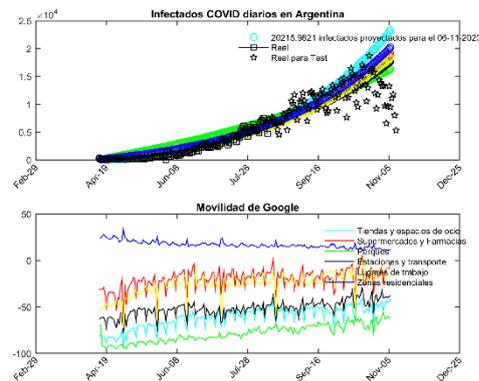


Fig. 11. Evolución de los valores dinámicos del cálculo según la movilidad de Google. Los datos empleados en el cálculo se indican con cuadrados y finalizan el 11 de agosto de 2020. Desde el 12 de agosto hasta el 6 de noviembre 2020 se hace empleo del modelo ajustado.

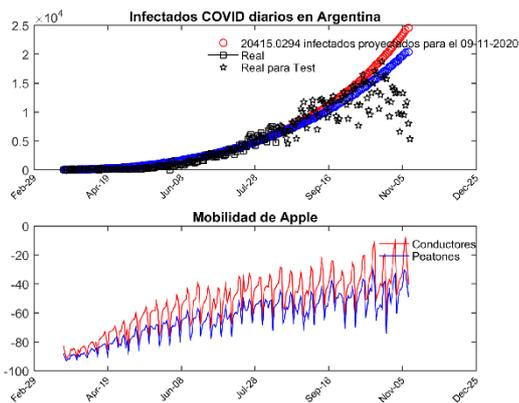


Fig. 12. Evolución de los valores dinámicos del cálculo según la movilidad de Apple. Los datos empleados en el cálculo se indican con cuadrados y finalizan el 11 de agosto de 2020. Desde el 12 de agosto hasta el 6 de noviembre 2020 se hace empleo del modelo ajustado.

En virtud de las discrepancias mostradas en las figuras Fig. 11 y Fig. 12, en este momento evidencia que los contagios pueden modelarse a partir de la movilidad, pero el modelo va cambiando en el sentido de minimizar los contagios. Por lo tanto, es conveniente implementar esta clase de modelado para inferir el cambio de infectados concluyendo que las personas han adoptado las conductas sociales que minimizan los contagios. Por ello, para modelar la nueva conducta social se debe trasladar el tiempo de inicio de los datos relevantes para el cómputo del modelo.

### Análisis de las variables socio económicas

La evolución de los contagios es importante para poder determinar la evolución de las variables socioeconómicas, teniendo como proxy de estos índices bursátiles como el precio del galón de petróleo, el precio de las acciones de Microsoft [3], y el índice Nasdaq [4] que incluye el desempeño de las empresas principales de productos electrónicos. En la Fig. 13 se puede observar que hay una fuerte dependencia de los índices hasta abril de 2020. Allí termina una etapa de comportamiento social donde se evidencia un pánico y tendencia en liquidar los papeles por parte de los tenedores, llegan a abrir el galón de petróleo [5] con valores negativos y un record de volumen negociado quintuplicando la cantidad normal. En esa etapa se comenzó una búsqueda exhaustiva de la vacuna [18].

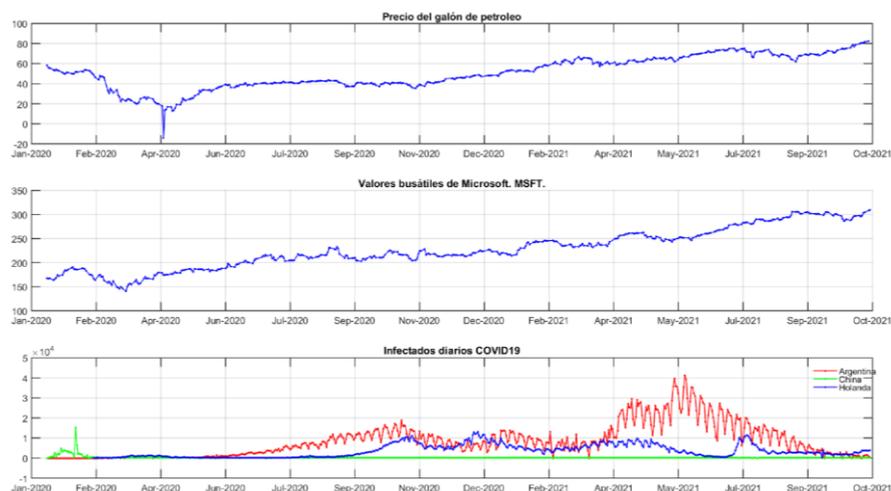


Fig. 13. Evolución de las variables socio económicas según los infectados diarios de Covid19.

Sin embargo, en mayo de 2020 apareció la convocatoria de los principales laboratorios para probar la vacuna para Covid19 en humanos [19]. Eso generó una expectativa en las personas y la pandemia fue tratada con otra óptica, según evidencian las variables mostradas en la Fig. 13 a partir de junio de 2020.

### Etapa de vacunación masiva mundial

El proceso de vacunación en el mundo comenzó a fines de 2020 en voluntarios, y se masificó a principio de 2021 [20]. No obstante, el impacto en el número de contagios diarios fue diferente según el país. En la Fig. 14 se muestra la evolución en Argentina, donde se destaca el aumento de contagios diarios que existió cuando comenzó el proceso de vacunación. Ese efecto también aparece en Holanda, como se ve en la Fig. 15, donde un brote de contagios aparece luego de casi finalizar de vacunar a su población en julio de 2021.

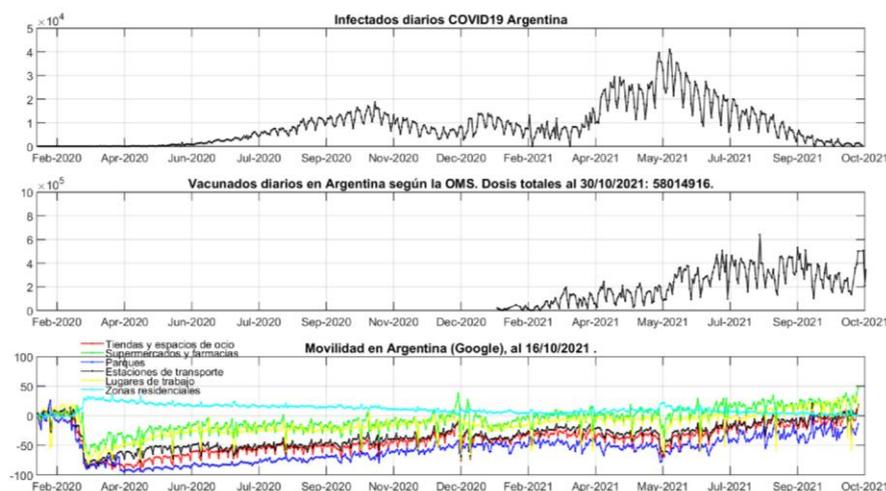


Fig. 14. Evolución de los infectados diarios, vacunados y movilidad de las personas según Google en Argentina.

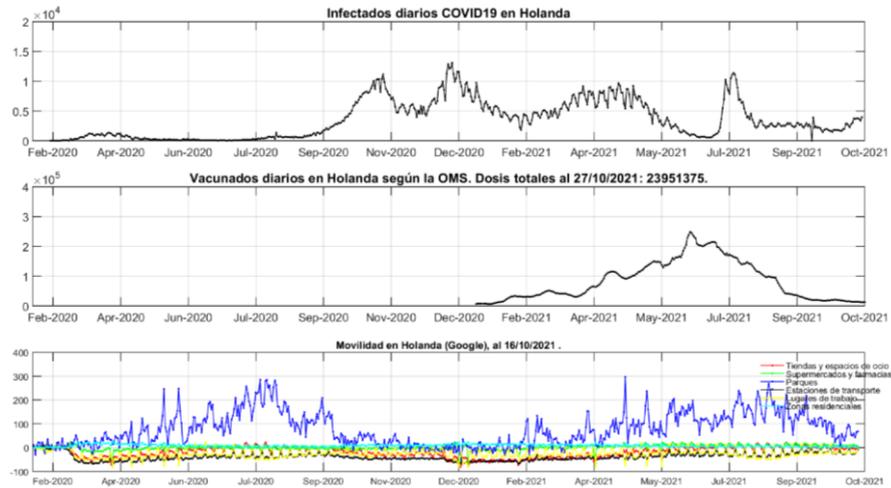


Fig. 15. Evolución de los infectados diarios, vacunados y movilidad de las personas según Google en Holanda.

### Variables socioeconómicas en pandemia

Para continuar extensivamente el análisis, se verifica la posible relación de correspondencia entre los infectados Covid19 [6] y los proxis seleccionados [3] [4] [5]. Luego de una simple inspección en la Fig. 13, se ve que las dependencias pueden resumirse al análisis entre los infectados en China y cada proxi socioeconómico. En la Fig. 16 se muestra la evolución de la función intercorrelación definida en (18) para diferentes intervalos de tiempo entre los infectados en China y el índice WTI [5]. Se eligieron intervalos de acuerdo a las etapas de evolución de la pandemia. Nótese que la primera parte de la pandemia fue la que marcó una diferencia en el modelo subyacente entre WTI y Covid19 de China. Por otro lado, todas las demás intercorrelaciones y las otras variables, mostradas en las Fig. 17 y Fig. 18 tienen una tendencia similar con su respectivo factor de escala de normalización indicado en cada caso.

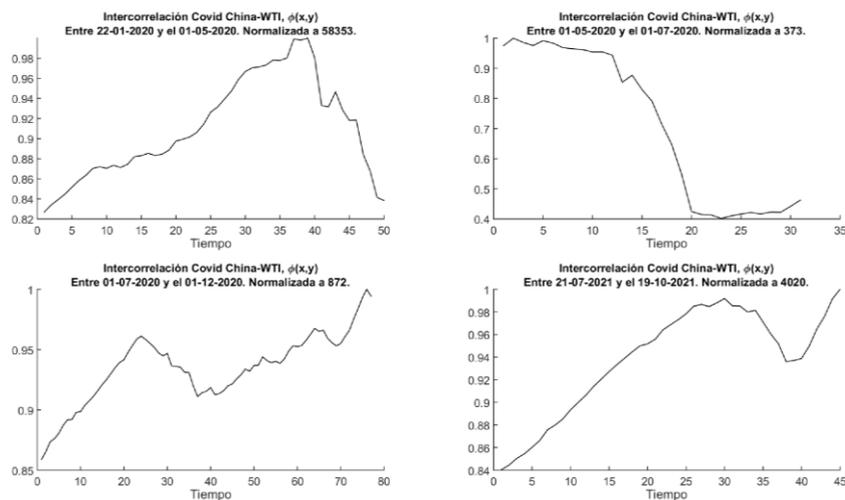


Fig. 16. Función intercorrelación (18) calculada entre los infectados de Covid19 en China y el valor del galón de petróleo WTI [5].

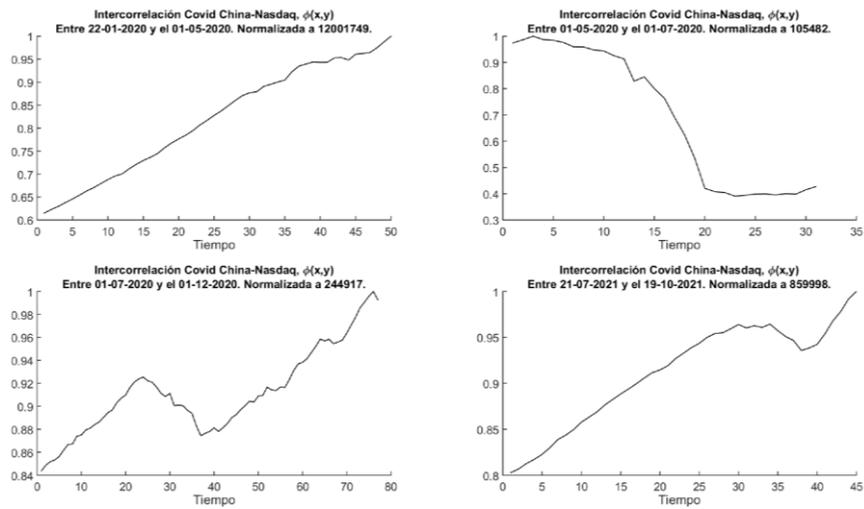


Fig. 17. Función intercorrelación (18) calculada entre los infectados de Covid19 en China y el índice Nasdaq.

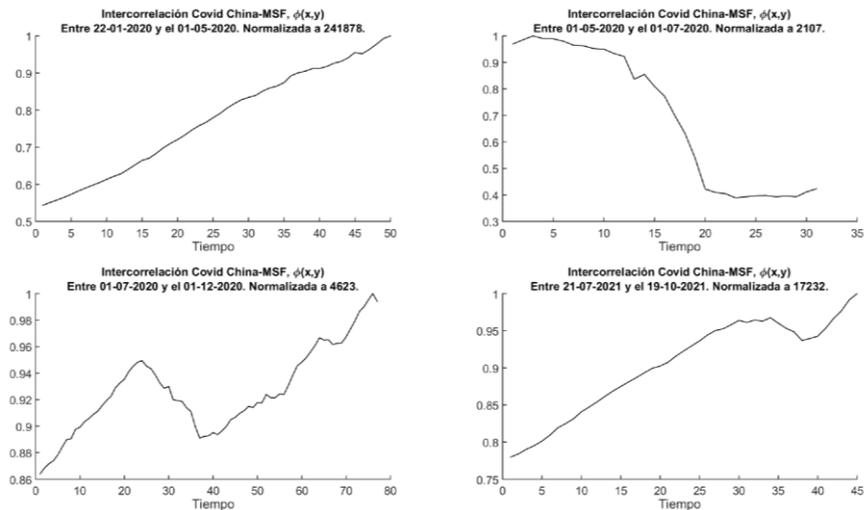


Fig. 18. Función intercorrelación (18) calculada entre los infectados de Covid19 en China y el valor de las acciones de Microsoft MSF.

Para finalizar el análisis, en la Fig. 19 se puede observar la evolución de las variables bursátiles [21] que tienen una tendencia similar a la que tenían antes de que comience la pandemia. Incluso la variable que ha sido afectada en el sentido desfavorable, que es el precio del galón de petróleo, ha llegado a su precio nominal medio anual, y lo ideal es que quede rondando por allí.

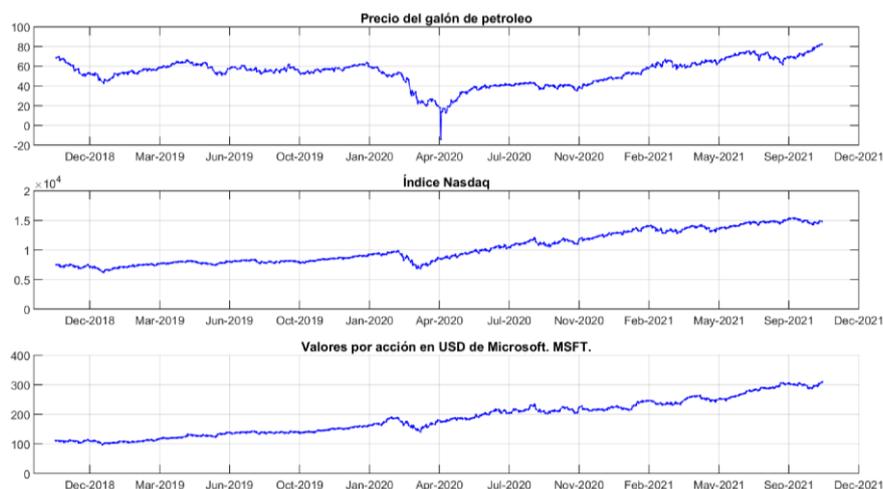


Fig. 19. Variables socio económicas de empresas que han sido impactadas por la pandemia.

## Conclusiones

En conclusión, a partir de la evidencia que los indicadores económicos mostrados tienen tendencia a la recuperación, y en algunos casos acercándose a la normalidad, se puede decir que los efectos de la pandemia han sido minimizados. El cambio en la conducta social, y en los mecanismos de producción de tecnología para combatir la pandemia ha ayudado a que la sociedad tenga expectativa positiva según evidencian las variables socioeconómicas [21] ya que el virus está en camino de la contención. Con respecto a la contribución del análisis al soporte en la toma de decisiones, de tienen dos aspectos a considerar. Un aspecto de política pública en la administración de los recursos para la sociedad, donde debe enfocarse en la inversión en la tecnología de la información y comunicaciones, además del fortalecimiento de la estructura de salud. El otro aspecto es el individual, donde cada persona no puede dejar de usar las barreras que son el barbijo, higiene personal y distanciamiento o evitar las concentraciones de personas en ambientes no ventilados.

## Bibliografía

- [1] <https://www.google.com/covid19/mobility/>
- [2] <https://covid19.apple.com/mobility>
- [3] <https://finance.yahoo.com/> <https://finance.yahoo.com/quote/MSFT/> Microsoft Corporation (MSFT)
- [4] <https://finance.yahoo.com/quote/%5EIXIC/> NASDAQ Composite (^IXIC)
- [5] <https://finance.yahoo.com/quote/CL%3DF/> Crude Oil Dec 21 (CL=F)
- [6] <https://covid19.who.int/>
- [7] Bernoulli, D. (1760). Esai d' une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole, et des avantages de l'inoculation pour la prévenir. *Mém Math. Phys. Acad. Roy. Sci.*, 1-45.
- [8] Ross R. The prevention of malaria. London: John Murray; 1911. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2302055/pdf/brmedj07224-0010.pdf>
- [9] Kermack, W. O. y McKendrick, A.G. (1927). "Contributions to the Mathematical Theory of Epidemics". *Proc. Roy. Soc. A.* vol. 115, pp. 700-721.

- [10] Amster, Pablo. <https://www.youtube.com/watch?v=7XKPydEnDjA&feature=youtu.be>
- [11] Hamer, W.H. (1906) The Milroy Lectures on Epidemic Disease in England—The Evidence of Variability and Persistence of Type. *The Lancet*. Volume 167, Issue 4305, 3 March 1906, Pages 569-574. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(01\)80187-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(01)80187-2).
- [12] H. D. Patiño, S. Tosetti, J. Pucheta and C. R. Riveros, “Control of COVID-19 Outbreak for Preventing Collapse of Healthcare Capacity based on Social Distancing, Confinement and Testing-Quarantining”, 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON), 2020, pp. 1-6, DOI: 10.1109/ARGENCON49523.2020.9505448. (2020).
- [13] <https://covid19-projections.com/path-to-herd-immunity/>
- [14] <https://globalepidemics.org/key-metrics-for-covid-suppression/>
- [15] J. Pucheta, C. Salas, M. Herrera, H. D. Patiño and C. R. Riveros, “Análisis y Modelado de Procesos Dinámicos para Medir el Cambio de Conducta Social en el Marco del COVID-19”, 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ARGENCON49523.2020.9505520. (2020).
- [16] Ljung, Lennart. *System Identification: Theory for the User* (2nd Edition). Prentice-Hall. 1999.
- [17] Oppenheim, Alan V., Ronald W. Schafer, and John R. Buck. *Discrete-Time Signal Processing*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1999.
- [18] Principales laboratorios colaboran en la búsqueda de la vacuna para el Covid19. [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/03/23/companias/1584965257\\_070426.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/03/23/companias/1584965257_070426.html)
- [19] Primeras pruebas en voluntarios. 5 de Mayo de 2020. [https://www.pfizer.com/news/press-release/press-release-detail/pfizer\\_and\\_biontech\\_dose\\_first\\_participants\\_in\\_the\\_u\\_s\\_as\\_part\\_of\\_global\\_covid\\_19\\_mrna\\_vaccine\\_development\\_program](https://www.pfizer.com/news/press-release/press-release-detail/pfizer_and_biontech_dose_first_participants_in_the_u_s_as_part_of_global_covid_19_mrna_vaccine_development_program)
- [20] Mathieu, E., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E. et al. A global database of COVID-19 vaccinations. *Nat Hum Behav* (2021)
- [21] <https://finance.yahoo.com/>

# NUEVOS MODELOS DE DECISIÓN Y OPERADORES DE AGREGACIÓN – GESTIÓN DE RECURSOS Y PROCESOS

David Luis La Red Martínez<sup>1</sup>

## Resumen

En los sistemas de procesamiento distribuido es frecuentemente necesario coordinar la asignación de recursos compartidos que deben ser asignados a los procesos en la modalidad de exclusión mutua; en tales casos se debe decidir el orden en que los recursos compartidos serán asignados a los procesos que requieren de los mismos; en este trabajo se propone un operador de agregación (que podría ser utilizado por un módulo administrador de recursos compartidos) que considerando los requerimientos de los procesos (recursos compartidos) y el estado de los nodos distribuidos donde operan los procesos (su carga computacional), decidirá el orden de asignación de los recursos a los procesos.

## Abstract

In distributed processing systems it is often necessary to coordinate the allocation of shared resources to be assigned to processes in a mutual exclusion mode; in such cases, it is necessary to decide the order in which the shared resources will be assigned to the processes that require them; This paper proposes an aggregation operator (which could be used by a shared resources administrator module) that, considering the requirements of the processes (shared resources) and the state of the distributed nodes where the processes operate (their computational load), will decide the order in which the resources will be assigned to the processes.

## Palabras Clave

Sistemas operativos, exclusión mutua, sistemas distribuidos, gestión inteligente de recursos y procesos

## Keywords

Operating systems, mutual exclusion, distributed systems, intelligent resource, and process management

## 1 Introducción

La proliferación de sistemas informáticos, muchos de ellos distribuidos en diferentes nodos con múltiples procesos que cooperan para el logro de una determinada función, hace necesario disponer de modelos de decisión que permitan a los grupos de procesos acceder a los recursos compartidos que sólo se pueden acceder en la modalidad de exclusión mutua.

Las soluciones tradicionales para esta problemática se encuentran en (Tanenbaum, 1996 y 2009), donde se describen los principales algoritmos de sincronización en sistemas

---

<sup>1</sup>Doctor en Ingeniería de Sistemas y Computación, Magister en Informática y Computación, Especialista en Docencia Universitaria, Experto en Estadística y Computación, Universidad Nacional del Nordeste y Universidad Tecnológica Nacional, [lrmdavid@exa.unne.edu.ar](mailto:lrmdavid@exa.unne.edu.ar) [lrmdavid@ca.frre.utn.edu.ar](mailto:lrmdavid@ca.frre.utn.edu.ar).

distribuidos; en (Agrawal et al., 1991), donde se presenta una solución eficiente y tolerante a fallas para el problema de la exclusión mutua distribuida; en (Ricart et al., 1981), (Cao y Singhal, 2001) y en (Lodha y Kshemkalyani, 2000), donde se presentan unos algoritmos para gestionar la exclusión mutua en redes de computadoras; en (Stallings, 2005), donde se detallan los principales algoritmos para la gestión distribuida de procesos, los estados globales distribuidos y la exclusión mutua distribuida.

Asimismo, en (Birman et al., 1987) se presenta un protocolo de comunicación confiable en presencia de fallas, en (Birman et al., 1991) se presenta un protocolo de comunicación multicast para grupos de procesos en la modalidad atómica, en (Birman, 2005) se estudian tecnologías, servicios web y aplicaciones de sistemas distribuidos confiables; en (Joseph et al., 1989) se presentan protocolos confiables de comunicaciones en la modalidad de broadcast; en (Tanenbaum y Van Steen, 2008) se describen los principales algoritmos de comunicación en sistemas distribuidos, en (Macedonia et al., 1995) se describe una arquitectura de red para entornos virtuales de gran escala para soportar la comunicación entre grupos de procesos distribuidos y en (Silberschatz et al., 2006) se presentan los principales algoritmos de coordinación distribuida y gestión de la exclusión mutua.

A su vez, en (Kaashoek, 1992) se estudia en profundidad la comunicación entre grupos de procesos analizándose protocolos como el FLIP: Fast Local Internet Protocol y el BP: Broadcast Protocol, analizando la comunicación entre grupos confiable y eficiente, la programación paralela, la programación tolerante a fallos utilizando broadcasting y planteando una arquitectura de tres niveles, el inferior para el protocolo FLIP, el medio para la comunicación en grupos de procesos y el superior para las aplicaciones; información adicional puede encontrarse en (Renesse et. Al., 2003).

También se han propuesto soluciones (que se pueden considerar clásicas o tradicionales) para tipos muy diferentes de sistemas distribuidos en (Andrews, 2000), (Guerraoui & Rodrigues, 2006), (Lynch, 1996), (Tel, 2000) y (Attiya & Welch, 2004). Otros trabajos centrados en garantizar la exclusión mutua se han presentado en (Saxena & Rai, 2003) y (Velazquez, 1993). Una interesante solución distribuida basada en permisos se presenta en (Lin et al., 2004) y una solución basada en prioridades de los procesos en (Sha et al., 1990).

Las soluciones tradicionales para la asignación de recursos compartidos distribuidos en la modalidad de exclusión mutua se concentran en garantizar esta última, sin considerar la carga computacional de los nodos donde operan los procesos y el impacto que sobre dicha carga producirá el acceso a los recursos compartidos solicitados por los procesos.

Sin embargo, esta asignación de recursos a los procesos debería hacerse teniendo en cuenta las prioridades de los procesos y también el estado en cuanto a carga de trabajo de los nodos computacionales en los cuales los procesos se ejecutan.

Los nuevos modelos de decisión para la asignación de recursos compartidos podrían ejecutarse en el contexto de un administrador de recursos compartidos para el sistema distribuido, el cual recibiría los requerimientos de recursos compartidos de los procesos que ejecutan en los distintos nodos distribuidos, como así también el estado de carga

computacional de los nodos y, considerando esa información, debería decidir el orden (prioridad) de asignación de los recursos solicitados a los procesos solicitantes de los mismos, para lo cual es necesario disponer de operadores de agregación específicamente diseñados.

En este trabajo se presentará un nuevo operador de agregación específico para la problemática mencionada, que encuadra en la categoría de operadores OWA, más concretamente Neat OWA.

La utilización de operadores de agregación en los modelos de decisión en grupo ha sido estudiada ampliamente, por ejemplo, en (Doña et al., 2011) se presenta un modelo de decisión en grupo con la utilización de operadores de agregación de la familia OWA (Ordered Weighted Averaging: Promedio de Pesos Ordenados); en (Fullér, 1996) se presenta la utilización de operadores de agregación de la familia OWA (Ordered Weighted Averaging: Promedio de Pesos Ordenados) para la toma de decisiones; en (Greco et al., 2002) se presentan metodologías para resolver problemas en presencia de múltiples atributos y criterios y en (Chao et al., 2016) se estudia la forma de obtener un vector de prioridades colectivo a partir de diferentes formatos de expresión de las preferencias por parte de los decisores. El modelo puede reducir la complejidad de la toma de decisiones y evitar la pérdida de información cuando se transforman los diferentes formatos en un formato único de expresión de las preferencias.

Asimismo, en (Chiclana et al., 2000), (Chiclana et al., 2001) y (Chiclana et al., 2004) se presentan varios operadores de agregación utilizables para la toma de decisiones en grupos; en (La Red et al., 2011a) se presenta el operador WKC-OWA para agregar información en problemas de decisión democrática; en (La Red et al., 2011b) se presenta un modelo de decisión en grupo con la utilización de etiquetas lingüísticas y una nueva forma de expresión de las preferencias de los decisores; en (La Red & Acosta, 2015) se presentan las principales propiedades matemáticas y las medidas de comportamiento relacionadas con los operadores de agregación; en (Peláez et al., 2003, 2004, 2007) se analizan operadores de agregación de mayoría y sus posibles aplicaciones a la toma de decisiones en grupo; en (Yager, 1988, 1993) se presentan y analizan los operadores OWA (Ordered Weighted Averaging: Promedio de Pesos Ordenados) aplicados a la toma de decisiones multicriterio y en (Yager et al., 1997, 2002) se presentan los operadores OWA y sus aplicaciones en la toma de decisiones multiagente.

A su vez, en (Dong et al., 2016a) se estudia la conexión de la jerarquía lingüística y la escala numérica para el modelo lingüístico de 2-tupla y su uso para tratar información lingüística no balanceada; en (Dong et al., 2016b) se define un problema complejo y dinámico de toma de decisiones en grupo con múltiples atributos y se propone un método de resolución que utiliza un proceso de consenso para grupos de atributos, de alternativas y de preferencias, presentándose un modelo de decisión para problemas del mundo real. También se ha tratado este tema en (Liu et al., 2018) y en (Wen et al., 2020).

Este trabajo, en el que se presentará un método innovador para la gestión de recursos compartidos en sistemas distribuidos, se ha estructurado de la siguiente manera: en la Sección 2 se explicarán las estructuras de datos a utilizar por el operador propuesto, en la Sección 3 se describirá el operador de agregación, en la Sección 4 se mostrará un

ejemplo detallado del mismo, en la Sección 5 se presentarán algunos escenarios particulares y su tratamiento con agregados al operador propuesto, en la Sección 6 se describirá el modelo de decisión propuesto, en la Sección 7 se hará una breve descripción del prototipo de simulador desarrollado, luego se presentarán las Consideraciones finales, que incluirán Conclusiones, Futuros Trabajos y Agradecimientos, finalizándose con la Bibliografía.

## 2 Estructuras de datos a utilizar

Se utilizarán las siguientes premisas y estructuras de datos (La Red Martínez, 2017).

Se trata de grupos de procesos distribuidos en nodos de procesos que acceden a recursos críticos compartidos en la modalidad de exclusión mutua distribuida, debiendo decidirse, ante la demanda de recursos por parte de los procesos, cuáles serán las prioridades para asignar los recursos a los procesos que los requieren (sólo intervendrán como alternativas de asignación a los procesos aquellos recursos disponibles, es decir, no asignados aún a determinados procesos):

- El permiso de acceso a los recursos compartidos propios de un nodo no dependerá sólo de si los nodos los están utilizando o no, sino del valor de agregación de las preferencias (prioridades) de los distintos nodos respecto de otorgar el acceso a los recursos compartidos (alternativas).
- Las opiniones (prioridades) de los distintos nodos respecto de otorgar el acceso a los recursos compartidos (alternativas) dependerá de la consideración del valor de variables que representen el estado de cada uno de los distintos nodos. Cada nodo deberá expresar sus prioridades para la asignación de los distintos recursos compartidos respecto de los requerimientos de recursos de cada proceso (que podrá ser parte de un grupo de procesos).

*Nodos* que alojan procesos:  $1, \dots, n$ . El conjunto de nodos se representa de la siguiente manera:

$$\text{nodos} = \{n_1, \dots, n_n\}$$

*Procesos* alojados en cada uno de los  $n$  nodos:  $1, \dots, p$ . El conjunto de procesos se representa de la siguiente manera:

$\text{procesos} = \{p_{ij}\}$  con  $i = 1, \dots, n$  ( $n^\circ$  de nodos en el sistema distribuido) y  $j = 1, \dots, p$  ( $n^\circ$  máximo de procesos en cada nodo), lo que se puede expresar mediante la tabla 1.

| Nodos | Procesos |          |      |          |
|-------|----------|----------|------|----------|
|       | $p_{11}$ | $p_{12}$ | .... | $p_{1p}$ |
| ....  | ....     | ....     | ...  | ....     |
| $i$   | $p_{i1}$ | $p_{i2}$ | .... | $p_{ip}$ |
| ....  | ....     | ....     | ...  | ....     |
| $n$   | $p_{n1}$ | $p_{n2}$ | .... | $p_{np}$ |

Tabla 1: Procesos en cada nodo.

*Grupos* de procesos distribuidos:  $1, \dots, g$ . El conjunto de grupos de procesos distribuidos se representa de la siguiente manera:

$grupos = \{p_{ij}\}$  con  $i$  indicando el nodo y  $j$  el proceso en dicho nodo.

*Tamaño* de cada uno de los  $g$  grupos de procesos. El n° de procesos en cada grupo indica la cardinalidad del grupo y se representa de la siguiente manera:

$card = \{card(g)\}$  con  $i = 1, \dots, g$  indicando el grupo.

*Prioridad grupal* de cada uno de los  $g$  grupos de procesos. Estas prioridades se pueden fijar según distintos criterios; en esta propuesta se considerará que es función de la cardinalidad de cada grupo y se representa de la siguiente manera:

$prg = \{prg_i = card(g_i)\}$  con  $i = 1, \dots, g$  indicando el grupo.

*Recursos* compartidos en la modalidad de exclusión mutua distribuida disponibles en los  $n$  nodos:  $1, \dots, r$ . El conjunto de recursos se representa de la siguiente manera:

$recursos = \{r_{ij}\}$  con  $i = 1, \dots, n$  (n° de nodos en el sistema distribuido) y  $j = 1, \dots, r$  (n° máximo de recursos en cada nodo), lo que se puede expresar mediante la tabla 2.

| Nodos | Recursos |          |      |          |
|-------|----------|----------|------|----------|
|       | $r_{11}$ | $r_{12}$ | .... | $r_{1r}$ |
| ....  | ....     | ....     | ...  | ....     |
| $i$   | $r_{i1}$ | $r_{i2}$ | .... | $r_{ir}$ |
| ....  | ....     | ....     | ...  | ....     |
| $n$   | $r_{n1}$ | $r_{n2}$ | .... | $r_{nr}$ |

Tabla 2: Recursos compartidos disponibles en cada nodo.

Estos recursos compartidos disponibles alojados en distintos nodos del sistema distribuido podrán ser requeridos por los procesos (agrupados o independientes) en ejecución en los nodos; estas solicitudes de recursos por parte de los procesos se muestran en la tabla 3:

| Recursos | Procesos |      |          |      |          |
|----------|----------|------|----------|------|----------|
|          | $p_{11}$ | .... | $p_{kl}$ | .... | $p_{np}$ |
| ....     | ....     | .... | ...      | .... | ....     |
| $r_{ij}$ | $p_{11}$ | .... | $p_{kl}$ | .... | $p_{np}$ |
| ....     | ....     | .... | ...      | .... | ....     |
| $r_{nr}$ | $p_{11}$ | .... | $p_{kl}$ | .... | $p_{np}$ |

Tabla 3: Recursos solicitados por los procesos.

*Estados* posibles de cada uno de los  $p$  procesos:

- Proceso independiente.

- Proceso perteneciente a un grupo de procesos.

*Estado* posible de cada uno de los  $n$  nodos:

- Número de procesos.
- Prioridades de los procesos.
- Uso de CPU.
- Uso de memoria principal.
- Uso de memoria virtual.
- Memoria adicional necesaria para cada recurso solicitado por cada proceso (si se dispone del dato).
- Carga adicional de procesador estimada necesaria para cada recurso solicitado por cada proceso (si se dispone del dato).
- Carga adicional de entrada/salida estimada necesaria para cada recurso solicitado por cada proceso (si se dispone del dato).
- Estado de cada uno de los  $r$  recursos compartidos en la modalidad de exclusión mutua distribuida existentes en el nodo:
  - Asignado a un proceso local o remoto.
  - Disponible.
- Predisposición (prioridad nodal) para otorgar el acceso a cada uno de los  $r$  recursos compartidos en la modalidad de exclusión mutua distribuida (resultará de la consideración de las variables representativas del estado del nodo, de la prioridad de los procesos y de la carga computacional adicional que significaría asignar el recurso al proceso solicitante).
- Carga actual del nodo, que se podrá calcular como el promedio de los porcentajes de uso de CPU, memoria y entrada/salida en un momento dado (estos indicadores de carga podrán variar según los casos, pudiendo agregarse otros o cambiarse algunos de los puestos como ejemplo); también habrán de definirse las categorías de carga actual, por ejemplo, Alta, Media y Baja, señalándose los rangos de valores para cada categoría.

### 3 Descripción del operador de agregación

El operador propuesto consta de las siguientes etapas (La Red Martínez, 2017):

- 1) Cálculo de la carga computacional actual de los nodos.
- 2) Establecimiento de las categorías de carga computacional y de los vectores de pesos asociados a las mismas.
- 3) Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos teniendo en cuenta el estado del nodo (se las calcula en cada nodo para cada proceso).
- 4) Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos para acceder a los recursos compartidos disponibles (se las calcula en el administrador centralizado de recursos compartidos) y determinación del orden en que se asignarán los recursos y a qué proceso será asignado cada recurso.

A continuación, se describirá cada una de las etapas mencionadas.

### *Cálculo de la carga computacional actual de los nodos*

Para obtener un indicador de la carga computacional actual de cada nodo se pueden adoptar distintos criterios; en esta propuesta los criterios serán el % de uso de la CPU, el % de uso de la memoria y el % de uso de operaciones de entrada / salida, como se verá en el ejemplo.

La carga computacional de cada nodo se calculará de la siguiente manera:

Establecimiento del n° de criterios para determinar la carga de los nodos:

$$\text{card}\{\text{criterios}\} = c$$

Establecimiento de los criterios que se aplicarán (podrán diferir de un nodo a otro):

$\text{criterios} = \{c_{ij}\}$  con  $i = 1, \dots, n$  (n° de nodos en el sistema distribuido) y  $j = 1, \dots, c$  (n° máximo de criterios para cada nodo), lo que se puede expresar mediante la tabla 4.

| Nodos |          | Criterios |      |          |  |
|-------|----------|-----------|------|----------|--|
| 1     | $c_{11}$ | $c_{12}$  | .... | $c_{1c}$ |  |
| ....  | ....     | ....      | ...  | ....     |  |
| $i$   | $c_{i1}$ | $c_{i2}$  | .... | $c_{ic}$ |  |
| ....  | ....     | ....      | ...  | ....     |  |
| $n$   | $c_{n1}$ | $c_{n2}$  | .... | $c_{nc}$ |  |

Tabla 4: Criterios para medir la carga computacional en cada nodo.

Eventualmente todos los nodos podrían utilizar el mismo conjunto de criterios.

Cálculo de la carga computacional de cada nodo:

$$\text{carga}_i = (\text{valor}(c_{i1}) + \dots + \text{valor}(c_{ic})) / c \text{ con } i = 1, \dots, n$$

*Establecimiento de las categorías de carga computacional y de los vectores de pesos asociados a las mismas*

Para establecer las categorías de carga computacional actual de cada nodo se pueden adoptar distintos criterios; en esta propuesta las categorías serán: Alta (si la carga es mayor al 70%), Media (si la carga está entre el 40% y el 70% inclusive) y Baja (si la carga es menor al 40%), como se verá en el ejemplo.

Establecimiento del n° de categorías para determinar la carga de los nodos:

$$\text{card}\{\text{categorías}\} = a$$

Establecimiento de las categorías que se aplicarán (podrán diferir de un nodo a otro):

$\text{categorías} = \{cat_{ij}\}$  con  $i = 1, \dots, n$  (n° de nodos en el sistema distribuido) y  $j = 1, \dots, a$  (n° máximo de categorías para cada nodo), lo que se puede expresar mediante la tabla 5.

| Nodos |            | Categorías |      |            |
|-------|------------|------------|------|------------|
| 1     | $cat_{11}$ | $cat_{12}$ | .... | $cat_{1a}$ |
| ....  | ....       | ....       | ...  | ....       |
| $i$   | $cat_{i1}$ | $cat_{i2}$ | .... | $cat_{ia}$ |
| ....  | ....       | ....       | ...  | ....       |
| $n$   | $cat_{n1}$ | $cat_{n2}$ | .... | $cat_{na}$ |

Tabla 5: Categorías para medir la carga computacional en cada nodo.

Eventualmente todos los nodos podrían utilizar el mismo conjunto de categorías.

Para establecer los vectores de pesos asociados a las categorías de carga computacional actual de cada nodo se pueden adoptar distintos criterios; en esta propuesta los criterios serán: N° de procesos en el nodo, % de uso de CPU, % de uso de memoria, % de uso de memoria virtual, prioridad del proceso (prioridad del proceso en el nodo donde se ejecuta), sobrecarga de memoria (memoria adicional que requerirá disponer el recurso solicitado, si el dato está disponible), sobrecarga de procesador (uso adicional de procesador que requerirá disponer el recurso solicitado, si el dato está disponible) y sobrecarga de entrada / salida (entrada / salida adicional que requerirá disponer el recurso solicitado, si el dato está disponible), como se verá en el ejemplo.

Establecimiento del n° de criterios para determinar la prioridad o preferencia que se otorgará en cada nodo según su carga a cada pedido de un recurso compartido hecho por cada proceso:

$$card(\{critpref\}) = e$$

Establecimiento de los criterios que se aplicarán (iguales para todos los nodos):

*criterios para preferencias* =  $\{cp_{ij}\}$  con  $i = 1, \dots, a$  (n° de categorías de carga computacional) y  $j = 1, \dots, e$  (n° máximo de criterios), lo que se puede expresar mediante la tabla 6.

| Categorías |           | Criterios |      |           |
|------------|-----------|-----------|------|-----------|
| 1          | $cp_{11}$ | $cp_{12}$ | .... | $cp_{1e}$ |
| ....       | ....      | ....      | ...  | ....      |
| $i$        | $cp_{i1}$ | $cp_{i2}$ | .... | $cp_{ie}$ |
| ....       | ....      | ....      | ...  | ....      |
| $a$        | $cp_{a1}$ | $cp_{a2}$ | .... | $cp_{ae}$ |

Tabla 6: Criterios para calcular la prioridad o preferencia que cada nodo otorgará a cada requerimiento de cada proceso según la carga del nodo.

Eventualmente todos los nodos podrían utilizar distintos conjuntos de criterios aplicables a las distintas categorías de carga computacional; en esta propuesta y como se verá en el ejemplo, se utilizan los mismos criterios para todos los nodos.

Una vez determinadas las categorías para indicar la carga de los nodos y los criterios que se aplicarán para evaluar la prioridad a otorgar a cada requerimiento de recursos de cada proceso, se podrán establecer los valores correspondientes a los criterios constituyendo así los vectores de pesos para las distintas categorías de carga.

Establecimiento de los vectores de pesos que se aplicarán (iguales para todos los nodos):

$pesos = \{w_{ij}\}$  con  $i = 1, \dots, a$  (n° de categorías de carga computacional) y  $j = 1, \dots, e$  (n° máximo de criterios), lo que se puede expresar mediante la tabla 7.

| Categorías |          | Pesos    |      |          |  |
|------------|----------|----------|------|----------|--|
| 1          | $w_{11}$ | $w_{12}$ | .... | $w_{1e}$ |  |
| ....       | ....     | ....     | ...  | ....     |  |
| $i$        | $w_{i1}$ | $w_{i2}$ | .... | $w_{ie}$ |  |
| ....       | ....     | ....     | ...  | ....     |  |
| $a$        | $w_{a1}$ | $w_{a2}$ | .... | $w_{ae}$ |  |

Tabla 7: Pesos asignados a los criterios para calcular la prioridad o preferencia que cada nodo otorgará a cada requerimiento de cada proceso según la carga del nodo.

La asignación de pesos a los distintos criterios será función de estudios estadísticos previamente realizados acerca del sistema distribuido; habrá entonces una función de asignación de pesos a los criterios para constituir los vectores de pesos de cada categoría de carga:

$w_{ij} = norm(función(cp_{ij}))$  con  $i = 1, \dots, a$  (n° de categorías) y  $j = 1, \dots, e$  (n° de criterios); *norm* indica que los valores deben estar normalizados (en el intervalo de 0 a 1 inclusive) y con la restricción de que la sumatoria de los elementos de un vector de pesos debe dar 1:

$$\sum \{w_{ij}\} = 1 \text{ con } j = 1, \dots, e \text{ para cada } i \text{ constante.}$$

Esto significa que la sumatoria de los pesos asignados a los distintos criterios será 1 para cada una de las categorías, o lo que es lo mismo, que la suma de elementos del vector de pesos de cada categoría es 1.

*Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos teniendo en cuenta el estado del nodo (se las calcula en cada nodo para cada proceso y podría llamárselas prioridades nodales)*

Estas prioridades son calculadas en cada nodo para cada petición de recursos originada en cada proceso; el cálculo considera el vector de pesos correspondiente según la carga actual del nodo y el vector de los valores otorgados por el nodo según los criterios de evaluación de la petición. El rango de valores es entre 0 y 1, donde un valor cercano a 0 significa que el criterio relacionado aportará poco al cálculo de la prioridad de la petición en tanto que un valor cercano a 1 significa lo contrario. Esto permite que un nodo ante una petición de un recurso por parte de un proceso, podrá influir en la misma según su estado y el impacto o carga adicional que significaría asignar el recurso solicitado al proceso solicitante, por ejemplo, si acceder a la petición significa incrementar el uso de memoria y el nodo tiene poca memoria disponible, entonces podría asignar a dicho criterio un valor cercano a 0, a su vez, si el consumo adicional de procesador se considera bajo y el uso de CPU del nodo es reducido, entonces a dicho criterio se asignaría un valor cercano a 1.

Los vectores de valoraciones que se aplicarán para cada requerimiento de un recurso por parte de un proceso, según los criterios establecidos para la determinación de la

prioridad que en cada caso y momento fijará el nodo en el cual se produce el requerimiento, son los siguientes:

*valoraciones*  $(r_{ij} p_{kl}) = \{cp_m\}$  con  $i = 1, \dots, n$  (nodo donde reside el recurso),  $j = 1, \dots, r$  (recurso en el nodo  $i$ ),  $k = 1, \dots, n$  (nodo donde reside el proceso),  $l = 1, \dots, p$  (proceso en el nodo  $k$ ) y  $m = 1, \dots, e$  (criterios de valoración de la prioridad del requerimiento), los que se pueden expresar mediante la tabla 8.

| Recursos |          | Criterios |      |        |      |        |
|----------|----------|-----------|------|--------|------|--------|
| -        |          |           |      |        |      |        |
| Procesos |          |           |      |        |      |        |
| $r_{11}$ | $p_{11}$ | $cp_1$    | .... | $cp_m$ | .... | $cp_e$ |
| ....     |          | ....      | .... | ...    | .... | ....   |
| $r_{ij}$ | $p_{kl}$ | $cp_1$    | .... | $cp_m$ | .... | $cp_e$ |
| ....     |          | ....      | .... | ...    | .... | ....   |
| $r_{nr}$ | $p_{np}$ | $cp_1$    | .... | $cp_m$ | .... | $cp_e$ |

Tabla 8: Valoraciones asignadas a los criterios para calcular la prioridad o preferencia que cada nodo otorgará a cada requerimiento de cada proceso según la carga del nodo.

Resumiendo, la prioridad nodal (por ser calculada en el nodo en el que se produce la petición) de un proceso para acceder a un recurso determinado (que puede estar en cualquier nodo) se calcula mediante el producto escalar de los vectores mencionados anteriormente:

*prioridad nodal*  $(r_{ij} p_{kl}) = \sum w_{om} * cp_m$  con  $o$  indicando el vector de pesos según la carga del nodo, manteniendo los demás subíndices los significados explicados anteriormente.

*Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos para acceder a los recursos compartidos disponibles (se las calcula en el administrador centralizado de recursos compartidos) y determinación del orden en que se asignarán los recursos y a qué proceso será asignado cada recurso*

En esta etapa se consideran las prioridades nodales calculadas en la etapa anterior para cada requerimiento de acceso a los recursos por parte de los procesos. A partir de estas prioridades nodales se deben calcular las prioridades globales o finales, es decir, con qué prioridad, o sea en qué orden, los recursos solicitados serán otorgados y a qué procesos se hará dicho otorgamiento. Los requerimientos que no puedan ser atendidos por resultar con bajas prioridades, serán nuevamente considerados en la siguiente iteración del método.

Para el cálculo de las prioridades finales se utiliza la tabla 9, en la cual se colocan las prioridades o preferencias nodales calculadas en la etapa anterior; en esta tabla cada fila contiene la información de las prioridades nodales de los distintos procesos para acceder a un determinado recurso.

| Recursos | Prioridades Nodales de los Procesos |      |          |      |          |
|----------|-------------------------------------|------|----------|------|----------|
|          |                                     |      |          |      |          |
| $r_{11}$ | $p_{11}$                            | .... | $p_{kl}$ | .... | $p_{np}$ |
| ....     | ....                                | .... | ...      | .... | ....     |
| $r_{ij}$ | $p_{11}$                            | .... | $p_{kl}$ | .... | $p_{np}$ |
| ....     | ....                                | .... | ...      | .... | ....     |
| $r_{nr}$ | $p_{11}$                            | .... | $p_{kl}$ | .... | $p_{np}$ |

Tabla 9: Prioridades nodales de los procesos para acceder a cada recurso.

Seguidamente corresponde calcular el vector de pesos finales que se utilizará en el proceso final de agregación para determinar el orden o prioridad de acceso a los recursos.

*pesos finales* =  $\{wf_{kl}\}$  con  $k = 1, \dots, n$  (n° de nodos) y  $l = 1, \dots, p$  (n° máximo de procesos por nodo), lo que se puede expresar mediante la tabla 10, donde  $np$  es el número de procesos en el sistema y  $prg_i$  es la prioridad del grupo de procesos al que pertenece el proceso (explicada en la Sección anterior).

| Procesos | Pesos Finales                   |                     |
|----------|---------------------------------|---------------------|
|          | Si integra un grupo de procesos | Si es independiente |
| $p_{11}$ | $wf_{11}=(prg_i)/np$            | $wf_{11}=1/np$      |
| ....     | ....                            | ....                |
| $p_{kl}$ | $wf_{kl}=(prg_i)/np$            | $wf_{kl}=1/np$      |
| ....     | ....                            | ....                |
| $p_{np}$ | $wf_{np}=(prg_i)/np$            | $wf_{np}=1/np$      |

Tabla 10: Pesos asignados a los procesos para calcular la prioridad o preferencia final de acceso a los recursos.

El siguiente paso es normalizar los pesos recientemente obtenidos dividiendo cada uno por la sumatoria de todos ellos, lo cual se indica en la tabla 11.

| Procesos | Pesos Finales Normalizados          |
|----------|-------------------------------------|
|          | $p_{11}$                            |
| ....     | ....                                |
| $p_{kl}$ | $nwf_{kl} = wf_{kl} / \sum wf_{kl}$ |
| ....     | ....                                |
| $p_{np}$ | $nwf_{np} = wf_{np} / \sum wf_{kl}$ |

Tabla 11: Pesos finales normalizados asignados a los procesos para calcular la prioridad o preferencia final de acceso a los recursos.

Es así como se obtiene un vector de pesos normalizados (en el intervalo de 0 a 1 inclusive) y con la restricción de que la sumatoria de los elementos del vector debe dar 1:

$\sum \{nwf_{kl}\} = 1$  con  $k = 1, \dots, n$  (n° de nodos) y  $l = 1, \dots, p$  (n° máximo de procesos por nodo).

Las prioridades nodales indicadas en la tabla 9 tomadas fila por fila, es decir, respecto de cada recurso, se multiplicarán escalarmente por el vector de pesos finales normalizados indicado en la tabla 11 para obtener las prioridades globales finales de acceso de cada proceso a cada recurso y de allí, el orden o prioridad con que se asignarán los recursos y a qué proceso de asignará cada uno de ellos; esto se indica a continuación.

*prioridad final global* ( $r_{ij} p_{kl}$ ) =  $nwf_{kl} * p_{kl}$  con  $r_{ij}$  indicando el recurso  $j$  del nodo  $i$ ,  $p_{kl}$  el proceso  $l$  del nodo  $k$  y el producto la prioridad final global de dicho proceso para acceder al mencionado recurso. El mayor de estos productos hechos para los distintos procesos en relación con el mismo recurso indicará cuál de los procesos tendrá acceso al recurso.

La sumatoria de todos estos productos en relación con el mismo recurso indicará la prioridad que tendrá dicho recurso para ser asignado, en relación con los demás recursos que también tendrán que ser asignados. Esto constituye lo que se denominará Función de Asignación para Sistemas Distribuidos (FASD):

$$FASD(r_{ij}) = \sum nwf_{kl} * p_{kl} = \text{prioridad de asignación del recurso } r_{ij}.$$

Calculando la FASD para todos los recursos se obtendrá un vector  $y$ , ordenando sus elementos de mayor a menor se obtendrá el orden prioritario de asignación de los recursos. Además, como ya se ha indicado, el mayor de los productos  $nwf_{kl} * p_{kl}$  respecto de cada recurso indicará el proceso al cual será asignado el recurso. Esto se indica en la tabla 12, dando lugar a la FASDO (Función de Asignación para Sistemas Distribuidos Ordenada).

| <i>Orden de asignación de los recursos</i>                               | <i>de</i> | <i>Proceso al que se asignará el recurso</i>                             |
|--|-----------|--|
| 1°: $r_{ij}$ del Máximo(FASD( $r_{ij}$ ))                                | del       | $p_{kl}$ del Máximo( $nwf_{kl} * p_{kl}$ ) para el $r_{ij}$ seleccionado |
| 2°: $r_{ij}$ del Máximo(FASD( $r_{ij}$ )) para los $r_{ij}$ no asignados | del       | $p_{kl}$ del Máximo( $nwf_{kl} * p_{kl}$ ) para el $r_{ij}$ seleccionado |
| ....   |           | ....   |
| último: $r_{ij}$ no asignado   | no        | $p_{kl}$ del Máximo( $nwf_{kl} * p_{kl}$ ) para el $r_{ij}$ seleccionado |

Tabla 12: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso.

Seguidamente se retiran de la tabla calculada con la FASD las asignaciones de recursos ya realizadas y se obtiene una nueva tabla generada con la FASDO, que contiene la nueva lista de asignación de recursos a procesos, debiendo iterarse hasta que todos los requerimientos de asignación de recursos a procesos se hayan efectuado, luego de lo cual, para obtener el listado final del orden de asignaciones habrá que concatenar las distintas tablas generadas en las sucesivas iteraciones de la FASDO, obteniéndose la tabla completa

con la totalidad de asignaciones, a esta concatenación la llamamos FASDC (Función de Asignación Distribuida Concatenada).

La secuencia de pasos se ilustra en las figuras 1 y 2.

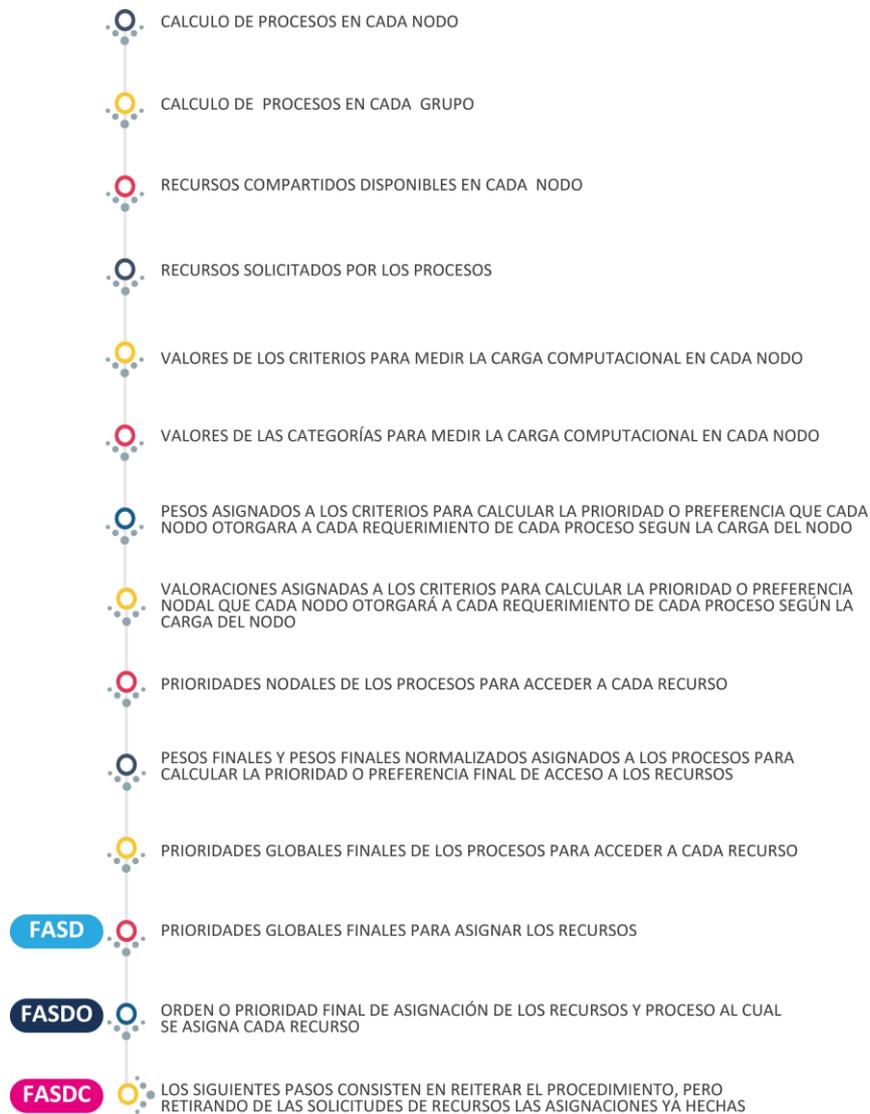


Figura 1: Secuencia de pasos.

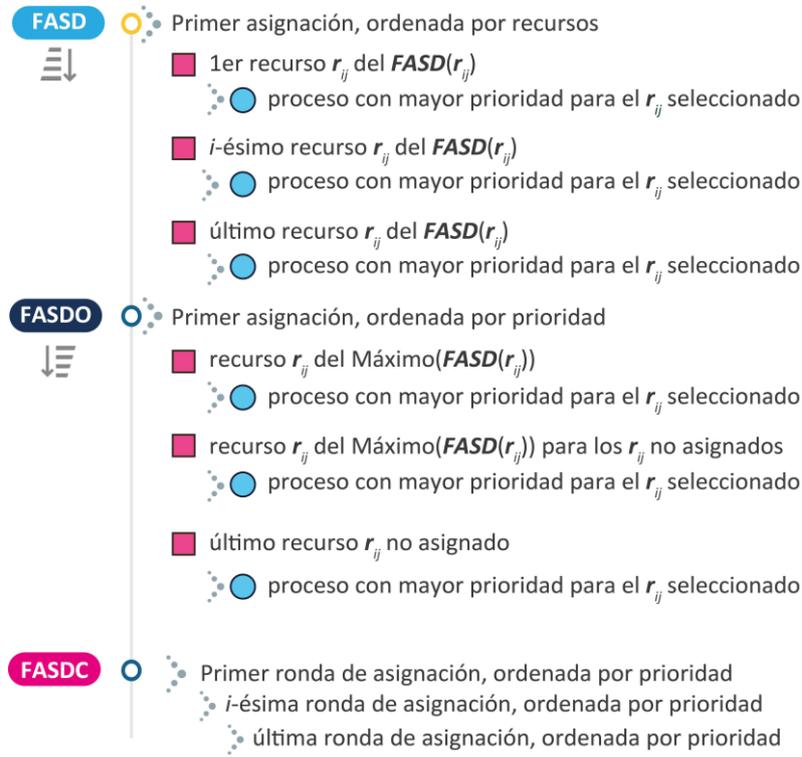


Figura 2: Secuencia de pasos de selección y reordenamiento de las FASD, FASDO Y FASDC.

### Consideraciones acerca de las operaciones de agregación

Las características de las operaciones de agregación descriptas permiten considerar que el método propuesto pertenece a la familia de operadores de agregación Neat-OWA, operadores que se caracterizan por lo siguiente:

La definición de los operadores OWA indica que  $f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot b_j$ , donde  $b_j$  es el  $j$ -ésimo valor mayor de las  $a_n$ , con la restricción para los pesos de satisfacer (1)  $w_i \in [0,1]$  y (2)  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

Para la familia de operadores Neat OWA los pesos serán calculados en función de los elementos que se agregan, o más exactamente de los valores a agregar ordenados, los  $b_j$ , manteniéndose las condiciones (1) y (2). En este caso los pesos son:  $w_i = f_i(b_1, \dots, b_n)$ , definiéndose el operador

$$F(a_1, \dots, a_n) = \sum_i f_i(b_1, \dots, b_n) \cdot b_i$$

Para esta familia, donde los pesos dependen de la agregación, no se exige la satisfacción de todas las propiedades de los operadores OWA.

Además, para poder afirmar que un operador de agregación es *neat*, es necesario que el valor final de agregación sea independiente del orden de los valores. Sea  $A = (a_1, \dots, a_n)$

las estradas a agregar, sea  $B = (b_1, \dots, b_n)$  las entradas ordenadas y  $C = (c_1, \dots, c_n) = Perm(a_1, \dots, a_n)$  una permutación de las entradas. Formalmente se define un operador OWA como *neat* si

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot b_i$$

Produce el mismo resultado para cualquier asignación  $C = B$ .

Una de las características a señalar de los operadores Neat OWA es que los valores a agregar no necesitan ser ordenados para su proceso. Esto implica que la formulación de un operador *neat* puede ser definida usando directamente los argumentos en lugar de los elementos ordenados.

En el operador de agregación propuesto los pesos se calculan en función de valores del contexto del cual surgen los valores a agregar.

#### 4 Ejemplo y discusión de resultados

En esta sección se explicará detalladamente un ejemplo de aplicación del operador de agregación propuesto (La Red Martínez, 2017).

El sistema de procesamiento distribuido tiene tres nodos:

$$nodos = \{1, 2, 3\}$$

Los procesos que se ejecutan en los nodos son los siguientes: tres procesos en el nodo 1, cinco procesos en el nodo 2 y siete procesos en el nodo 3.

$procesos = \{p_{ij}\}$  con  $i$  indicando el nodo y  $j$  indicando el proceso, lo que se puede expresar mediante la tabla 13.

| Nodos | Procesos |          |          |          |          |          |          |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | $p_{11}$ | $p_{12}$ | $p_{13}$ |          |          |          |          |
| 2     | $P_{21}$ | $P_{22}$ | $P_{23}$ | $P_{24}$ | $P_{25}$ |          |          |
| 3     | $P_{31}$ | $P_{32}$ | $P_{33}$ | $P_{34}$ | $P_{35}$ | $P_{36}$ | $P_{37}$ |

Tabla 13: Procesos en cada nodo.

Varios procesos son independientes y otros constituyen grupos de procesos cooperativos; en este ejemplo se considerarán cuatro grupos, lo que se puede expresar mediante la tabla 14.

| Grupos | Procesos |          |          |
|--------|----------|----------|----------|
| 1      | $p_{11}$ | $p_{25}$ | $p_{37}$ |
| 2      | $p_{12}$ | $p_{21}$ |          |
| 3      | $p_{22}$ | $p_{31}$ |          |
| 4      | $p_{13}$ | $p_{23}$ | $p_{34}$ |

Tabla 14: Procesos en cada grupo.

El n° de procesos en cada grupo indica la cardinalidad del grupo y se representa de la siguiente manera:

$$card = \{card(g_i)\} = \{3, 2, 2, 3\} \text{ con } i \text{ indicando el grupo.}$$

La prioridad de los grupos de procesos se considerará que es la cardinalidad de cada grupo y se representa de la siguiente manera:

$$prg = \{prg_i = card(g_i)\} = \{3, 2, 2, 3\} \text{ con } i \text{ indicando el grupo.}$$

Los recursos compartidos disponibles en los nodos son los siguientes: tres recursos en el nodo 1, cuatro recursos en el nodo 2 y tres recursos en el nodo 3.

$recursos = \{p_{ij}\}$  con  $i$  indicando el nodo y  $j$  indicando el proceso, lo que se puede expresar mediante la tabla 15.

| Nodos |          | Recursos |          |          |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | $r_{11}$ | $r_{12}$ | $r_{13}$ |          |
| 2     | $r_{21}$ | $r_{22}$ | $r_{23}$ | $r_{24}$ |
| 3     | $r_{31}$ | $r_{32}$ | $r_{33}$ |          |

Tabla 15: Recursos compartidos disponibles en cada nodo.

Las solicitudes de recursos por parte de los procesos se muestran en la tabla 16.

| Recursos | Procesos   |
|----------|--|
| $r_{11}$ | $p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{24}, p_{32}, p_{33}, p_{36}, p_{37}$                                 |
| $r_{12}$ | $p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{21}, p_{23}, p_{24}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$ |
| $r_{13}$ | $p_{13}, p_{21}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}$                                 |
| $r_{21}$ | $p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{22}, p_{25}, p_{33}, p_{36}, p_{37}$                                 |
| $r_{22}$ | $p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{21}, p_{22}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}$                         |
| $r_{23}$ | $p_{11}, p_{21}, p_{24}, p_{32}, p_{33}, p_{34}$   |
| $r_{24}$ | $p_{11}, p_{23}, p_{24}, p_{34}, p_{35}, p_{36}$   |
| $r_{31}$ | $p_{12}, p_{13}, p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{31}, p_{34}, p_{35}, p_{36}$                         |
| $r_{32}$ | $p_{13}, p_{23}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$   |
| $r_{33}$ | $p_{12}, p_{13}, p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{31}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$         |

Tabla 16: Recursos solicitados por los procesos.

A continuación, se describirá cada una de las etapas de cálculo.

#### *Cálculo de la carga computacional actual de los nodos*

Para obtener un indicador de la carga computacional actual de cada nodo se adoptarán los mismos tres criterios en los tres nodos:

$$\text{card}\{\text{criterios}\} = 3$$

$\text{criterios} = \{\% \text{ de uso de la CPU, el \% de uso de la memoria, \% de uso de operaciones de entrada / salida}\}$ .

Los valores que se asumirán para los indicadores de carga computacional de los tres nodos y el cálculo de carga promedio para cada nodo se muestran en la tabla 17.

| Nodos | Valores de los Criterios |    |    |                    |
|-------|--------------------------|----|----|--------------------|
| 1     | 80                       | 90 | 75 | Promedio:<br>81,67 |
| 2     | 45                       | 50 | 65 | Promedio:<br>53,33 |
| 3     | 10                       | 25 | 35 | Promedio:<br>23,33 |

Tabla 17: Valores de los criterios para medir la carga computacional en cada nodo.

*Establecimiento de las categorías de carga computacional y de los vectores de pesos asociados a las mismas*

En esta propuesta las categorías serán las mismas para todos los nodos: Alta (si la carga es mayor al 70%), Media (si la carga está entre el 40% y el 70% inclusive) y Baja (si la carga es menor al 40%).

$$\text{card}\{\text{categorías}\} = 3$$

$$\text{categorías} = \{\text{Alta, Media, Baja}\}$$

Los valores que se obtienen para las categorías de carga en base a los promedios mostrados en la tabla 17, se indican en la tabla 18.

| Nodos | Valores de las Categorías |
|-------|---------------------------|
| 1     | Alta                      |
| 2     | Media                     |
| 3     | Baja                      |

Tabla 18: Valores de las categorías para medir la carga computacional en cada nodo.

Para establecer los vectores de pesos asociados a las categorías de carga computacional actual de cada nodo se utilizarán, para todos los nodos y para todas las categorías de carga, los siguientes criterios: N° de procesos en el nodo, % de uso de CPU, % de uso de memoria, % de uso de memoria virtual, prioridad del proceso (prioridad del proceso en el nodo donde se ejecuta), sobrecarga de memoria (memoria adicional que requerirá disponer el recurso solicitado, si el dato está disponible), sobrecarga de procesador (uso adicional de procesador que requerirá disponer el recurso solicitado, si el dato está disponible) y sobrecarga de entrada / salida (entrada / salida adicional que requerirá disponer el recurso solicitado, si el dato está disponible).

$$\text{card}\{\text{critpref}\} = 8$$

*criterios para preferencias* = {N° de procesos en el nodo, % de uso de CPU, % de uso de memoria, % de uso de memoria virtual, prioridad del proceso, sobrecarga de memoria, sobrecarga de procesador, sobrecarga de entrada / salida}

Seguidamente se deben establecer los valores correspondientes a los criterios constituyendo así los vectores de pesos para las distintas categorías de carga, que serán iguales para todos los nodos, lo cual se indica en la tabla 19.

| Categorías | Pesos    |       |        |      |                 |              |               |             |  |
|------------|----------|-------|--------|------|-----------------|--------------|---------------|-------------|--|
|            | N° Proc. | % CPU | % Mem. | % MV | Prioridad Proc. | Sobrec. Mem. | Sobrec. Proc. | Sobrec. E/S |  |
| Alta       | 0,05     | 0,05  | 0,1    | 0,5  | 0,1             | 0,1          | 0,05          | 0,05        |  |
| Media      | 0,1      | 0,2   | 0,3    | 0,1  | 0,2             | 0,05         | 0,025         | 0,025       |  |
| Baja       | 0,1      | 0,3   | 0,2    | 0,2  | 0,1             | 0,025        | 0,025         | 0,05        |  |

Tabla 19: Pesos asignados a los criterios para calcular la prioridad o preferencia que cada nodo otorgará a cada requerimiento de cada proceso según la carga del nodo.

La sumatoria de los pesos asignados a los distintos criterios es 1 para cada una de las categorías, o lo que es lo mismo, que la suma de elementos del vector de pesos de cada categoría es 1.

*Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos teniendo en cuenta el estado del nodo (se las calcula en cada nodo para cada proceso y podría llamárselas prioridades nodales)*

Los vectores de valoraciones se aplican para cada requerimiento de un recurso hecho por un proceso, según los criterios establecidos para la determinación de la prioridad que en cada caso y momento fija el nodo en el cual se produce el requerimiento; cada vector de valoraciones de cada requerimiento se multiplica escalarmente por el vector de pesos correspondiente a la categoría de carga actual del nodo para obtener la prioridad según cada criterio y la prioridad nodal otorgada a cada requerimiento; esto se muestra en la tabla 20.

| Procesos - Recursos      | Criterios |       |        |      |                 |              |               |             |       | Prioridades Nodales |
|--------------------------|-----------|-------|--------|------|-----------------|--------------|---------------|-------------|-------|---------------------|
|                          | N° Proc.  | % CPU | % Mem. | % MV | Prioridad Proc. | Sobrec. Mem. | Sobrec. Proc. | Sobrec. E/S |       |                     |
| p <sub>11R11</sub>       | 0,7       | 0,5   | 0,7    | 0,9  | 0,8             | 0,2          | 0,3           | 0,4         |       |                     |
| Pri(p <sub>11R11</sub> ) | 0,035     | 0,025 | 0,07   | 0,45 | 0,08            | 0,02         | 0,015         | 0,02        | 0,715 |                     |
| p <sub>11R12</sub>       | 0,8       | 0,7   | 0,4    | 0,5  | 0,3             | 0,7          | 0,2           | 0,4         |       |                     |
| Pri(p <sub>11R12</sub> ) | 0,04      | 0,035 | 0,04   | 0,25 | 0,03            | 0,07         | 0,01          | 0,02        | 0,495 |                     |
| p <sub>11R21</sub>       | 0,3       | 0,4   | 0,5    | 0,2  | 0,9             | 0,2          | 0,5           | 0,7         |       |                     |
| Pri(p <sub>11R21</sub> ) | 0,015     | 0,02  | 0,05   | 0,1  | 0,09            | 0,02         | 0,025         | 0,035       | 0,355 |                     |
| p <sub>11R22</sub>       | 0,5       | 0,5   | 0,7    | 0,4  | 0,8             | 0,3          | 0,5           | 0,6         |       |                     |
| Pri(p <sub>11R22</sub> ) | 0,025     | 0,025 | 0,07   | 0,2  | 0,08            | 0,03         | 0,025         | 0,03        | 0,485 |                     |
| p <sub>11R23</sub>       | 0,5       | 0,6   | 0,8    | 0,8  | 0,95            | 0,9          | 0,7           | 0,6         |       |                     |
| Pri(p <sub>11R23</sub> ) | 0,025     | 0,03  | 0,08   | 0,4  | 0,095           | 0,09         | 0,035         | 0,03        | 0,785 |                     |
| p <sub>11R24</sub>       | 0,3       | 0,5   | 0,9    | 0,2  | 0,6             | 0,6          | 0,7           | 0,4         |       |                     |
| Pri(p <sub>11R24</sub> ) | 0,015     | 0,025 | 0,09   | 0,1  | 0,06            | 0,06         | 0,035         | 0,02        | 0,405 |                     |

|                          |       |       |      |      |      |       |        |        |        |
|--------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|
| p <sub>12r11</sub>       | 0,4   | 0,7   | 0,5  | 0,9  | 1    | 0,9   | 0,8    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>12r11</sub> ) | 0,02  | 0,035 | 0,05 | 0,45 | 0,1  | 0,09  | 0,04   | 0,04   | 0,825  |
| p <sub>12r12</sub>       | 0,2   | 0,7   | 0,3  | 0,7  | 0,8  | 0,3   | 0,8    | 0,9    |        |
| Pri(p <sub>12r12</sub> ) | 0,01  | 0,035 | 0,03 | 0,35 | 0,08 | 0,03  | 0,04   | 0,045  | 0,62   |
| p <sub>12r21</sub>       | 0,7   | 0,4   | 0,3  | 0,7  | 0,8  | 0,9   | 0,5    | 0,2    |        |
| Pri(p <sub>12r21</sub> ) | 0,035 | 0,02  | 0,03 | 0,35 | 0,08 | 0,09  | 0,025  | 0,01   | 0,64   |
| p <sub>12r22</sub>       | 0,9   | 0,6   | 0,7  | 0,7  | 0,8  | 0,2   | 0,5    | 0,4    |        |
| Pri(p <sub>12r22</sub> ) | 0,045 | 0,03  | 0,07 | 0,35 | 0,08 | 0,02  | 0,025  | 0,02   | 0,64   |
| p <sub>12r31</sub>       | 0,2   | 0,5   | 0,7  | 0,7  | 0,3  | 0,2   | 0,7    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>12r31</sub> ) | 0,01  | 0,025 | 0,07 | 0,35 | 0,03 | 0,02  | 0,035  | 0,04   | 0,58   |
| p <sub>12r33</sub>       | 0,4   | 0,5   | 0,7  | 0,9  | 0,3  | 0,4   | 0,5    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>12r33</sub> ) | 0,02  | 0,025 | 0,07 | 0,45 | 0,03 | 0,04  | 0,025  | 0,04   | 0,7    |
| p <sub>13r11</sub>       | 0,5   | 0,7   | 0,7  | 0,8  | 0,6  | 0,5   | 0,7    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>13r11</sub> ) | 0,025 | 0,035 | 0,07 | 0,4  | 0,06 | 0,05  | 0,035  | 0,04   | 0,715  |
| p <sub>13r12</sub>       | 0,7   | 0,8   | 0,7  | 0,4  | 0,9  | 0,2   | 0,9    | 0,7    |        |
| Pri(p <sub>13r12</sub> ) | 0,035 | 0,04  | 0,07 | 0,2  | 0,09 | 0,02  | 0,045  | 0,035  | 0,535  |
| p <sub>13r13</sub>       | 0,7   | 0,6   | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 0,4   | 0,8    | 0,7    |        |
| Pri(p <sub>13r13</sub> ) | 0,035 | 0,03  | 0,07 | 0,4  | 0,09 | 0,04  | 0,04   | 0,035  | 0,74   |
| p <sub>13r21</sub>       | 0,7   | 0,4   | 0,9  | 0,3  | 0,5  | 0,7   | 0,2    | 0,3    |        |
| Pri(p <sub>13r21</sub> ) | 0,035 | 0,02  | 0,09 | 0,15 | 0,05 | 0,07  | 0,01   | 0,015  | 0,44   |
| p <sub>13r22</sub>       | 0,5   | 0,9   | 0,8  | 0,3  | 0,5  | 0,4   | 0,9    | 0,3    |        |
| Pri(p <sub>13r22</sub> ) | 0,025 | 0,045 | 0,08 | 0,15 | 0,05 | 0,04  | 0,045  | 0,015  | 0,45   |
| p <sub>13r31</sub>       | 0,5   | 0,7   | 0,3  | 0,6  | 0,8  | 0,9   | 0,9    | 0,5    |        |
| Pri(p <sub>13r31</sub> ) | 0,025 | 0,035 | 0,03 | 0,3  | 0,08 | 0,09  | 0,045  | 0,025  | 0,63   |
| p <sub>13r32</sub>       | 0,6   | 0,9   | 0,3  | 0,6  | 0,4  | 0,8   | 0,7    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>13r32</sub> ) | 0,03  | 0,045 | 0,03 | 0,3  | 0,04 | 0,08  | 0,035  | 0,04   | 0,6    |
| p <sub>13r33</sub>       | 0,6   | 0,2   | 0,4  | 0,6  | 0,9  | 0,8   | 0,5    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>13r33</sub> ) | 0,03  | 0,01  | 0,04 | 0,3  | 0,09 | 0,08  | 0,025  | 0,04   | 0,615  |
| p <sub>21r12</sub>       | 0,2   | 0,1   | 0,3  | 0,8  | 0,7  | 0,7   | 0,5    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>21r12</sub> ) | 0,02  | 0,02  | 0,09 | 0,08 | 0,14 | 0,035 | 0,0125 | 0,02   | 0,4175 |
| p <sub>21r13</sub>       | 0,2   | 0,4   | 0,8  | 0,9  | 0,7  | 0,4   | 0,5    | 0,2    |        |
| Pri(p <sub>21r13</sub> ) | 0,02  | 0,08  | 0,24 | 0,09 | 0,14 | 0,02  | 0,0125 | 0,005  | 0,6075 |
| p <sub>21r22</sub>       | 0,3   | 0,5   | 0,8  | 0,9  | 0,5  | 0,6   | 0,2    | 0,4    |        |
| Pri(p <sub>21r22</sub> ) | 0,03  | 0,1   | 0,24 | 0,09 | 0,1  | 0,03  | 0,005  | 0,01   | 0,605  |
| p <sub>21r23</sub>       | 0,7   | 0,5   | 0,6  | 0,8  | 0,5  | 0,2   | 0,9    | 0,4    |        |
| Pri(p <sub>21r23</sub> ) | 0,07  | 0,1   | 0,18 | 0,08 | 0,1  | 0,01  | 0,0225 | 0,01   | 0,5725 |
| p <sub>21r31</sub>       | 0,7   | 0,5   | 0,8  | 0,6  | 0,9  | 0,4   | 0,9    | 0,9    |        |
| Pri(p <sub>21r31</sub> ) | 0,07  | 0,1   | 0,24 | 0,06 | 0,18 | 0,02  | 0,0225 | 0,0225 | 0,715  |
| p <sub>21r33</sub>       | 0,7   | 0,4   | 0,9  | 0,8  | 0,4  | 0,8   | 0,6    | 0,6    |        |
| Pri(p <sub>21r33</sub> ) | 0,07  | 0,08  | 0,27 | 0,08 | 0,08 | 0,04  | 0,015  | 0,015  | 0,65   |
| p <sub>22r21</sub>       | 0,5   | 0,4   | 0,7  | 0,8  | 0,6  | 0,4   | 0,6    | 0,9    |        |
| Pri(p <sub>22r21</sub> ) | 0,05  | 0,08  | 0,21 | 0,08 | 0,12 | 0,02  | 0,015  | 0,0225 | 0,5975 |
| p <sub>22r22</sub>       | 0,5   | 0,9   | 0,6  | 0,8  | 0,9  | 0,4   | 0,2    | 0,1    |        |
| Pri(p <sub>22r22</sub> ) | 0,05  | 0,18  | 0,18 | 0,08 | 0,18 | 0,02  | 0,005  | 0,0025 | 0,6975 |
| p <sub>22r31</sub>       | 0,5   | 0,4   | 0,5  | 0,2  | 0,4  | 0,8   | 0,2    | 0,9    |        |
| Pri(p <sub>22r31</sub> ) | 0,05  | 0,08  | 0,15 | 0,02 | 0,08 | 0,04  | 0,005  | 0,0225 | 0,4475 |
| p <sub>22r33</sub>       | 0,8   | 0,4   | 0,3  | 0,2  | 0,8  | 0,9   | 0,5    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>22r33</sub> ) | 0,08  | 0,08  | 0,09 | 0,02 | 0,16 | 0,045 | 0,0125 | 0,02   | 0,5075 |

|                          |      |      |      |      |      |        |        |        |        |
|--------------------------|------|------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|
| p <sub>23r12</sub>       | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 0,3  | 0,5  | 0,7    | 0,5    | 0,5    |        |
| Pri(p <sub>23r12</sub> ) | 0,05 | 0,12 | 0,24 | 0,03 | 0,1  | 0,035  | 0,0125 | 0,0125 | 0,6    |
| p <sub>23r24</sub>       | 0,6  | 0,2  | 0,1  | 0,7  | 0,3  | 0,8    | 0,9    | 0,4    |        |
| Pri(p <sub>23r24</sub> ) | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,07 | 0,06 | 0,04   | 0,0225 | 0,01   | 0,3325 |
| p <sub>23r31</sub>       | 0,3  | 0,1  | 0,4  | 0,8  | 0,7  | 0,9    | 0,4    | 0,6    |        |
| Pri(p <sub>23r31</sub> ) | 0,03 | 0,02 | 0,12 | 0,08 | 0,14 | 0,045  | 0,01   | 0,015  | 0,46   |
| p <sub>23r32</sub>       | 0,4  | 0,4  | 0,8  | 0,2  | 0,4  | 0,6    | 0,6    | 0,6    |        |
| Pri(p <sub>23r32</sub> ) | 0,04 | 0,08 | 0,24 | 0,02 | 0,08 | 0,03   | 0,015  | 0,015  | 0,52   |
| p <sub>23r33</sub>       | 0,3  | 0,6  | 0,8  | 0,2  | 0,9  | 0,6    | 0,4    | 0,2    |        |
| Pri(p <sub>23r33</sub> ) | 0,03 | 0,12 | 0,24 | 0,02 | 0,18 | 0,03   | 0,01   | 0,005  | 0,635  |
| p <sub>24r11</sub>       | 0,4  | 0,6  | 0,7  | 0,9  | 0,5  | 0,7    | 0,9    | 0,5    |        |
| Pri(p <sub>24r11</sub> ) | 0,04 | 0,12 | 0,21 | 0,09 | 0,1  | 0,035  | 0,0225 | 0,0125 | 0,63   |
| p <sub>24r12</sub>       | 0,3  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 0,7    | 0,6    | 0,9    |        |
| Pri(p <sub>24r12</sub> ) | 0,03 | 0,12 | 0,21 | 0,08 | 0,18 | 0,035  | 0,015  | 0,0225 | 0,6925 |
| p <sub>24r23</sub>       | 0,4  | 0,9  | 0,4  | 0,8  | 0,8  | 0,7    | 0,6    | 0,3    |        |
| Pri(p <sub>24r23</sub> ) | 0,04 | 0,18 | 0,12 | 0,08 | 0,16 | 0,035  | 0,015  | 0,0075 | 0,6375 |
| p <sub>24r24</sub>       | 0,5  | 0,8  | 0,7  | 0,9  | 0,3  | 0,4    | 0,8    | 0,7    |        |
| Pri(p <sub>24r24</sub> ) | 0,05 | 0,16 | 0,21 | 0,09 | 0,06 | 0,02   | 0,02   | 0,0175 | 0,6275 |
| p <sub>25r21</sub>       | 0,2  | 0,8  | 0,8  | 0,9  | 0,4  | 0,5    | 0,6    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>25r21</sub> ) | 0,02 | 0,16 | 0,24 | 0,09 | 0,08 | 0,025  | 0,015  | 0,02   | 0,65   |
| p <sub>31r13</sub>       | 0,6  | 0,9  | 0,6  | 0,9  | 0,7  | 0,4    | 0,9    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>31r13</sub> ) | 0,06 | 0,27 | 0,12 | 0,18 | 0,07 | 0,01   | 0,0225 | 0,04   | 0,7725 |
| p <sub>31r31</sub>       | 0,8  | 0,3  | 0,9  | 0,5  | 0,7  | 0,3    | 0,9    | 0,7    |        |
| Pri(p <sub>31r31</sub> ) | 0,08 | 0,09 | 0,18 | 0,1  | 0,07 | 0,0075 | 0,0225 | 0,035  | 0,585  |
| p <sub>31r33</sub>       | 0,4  | 0,7  | 0,7  | 0,5  | 0,9  | 0,9    | 0,7    | 0,7    |        |
| Pri(p <sub>31r33</sub> ) | 0,04 | 0,21 | 0,14 | 0,1  | 0,09 | 0,0225 | 0,0175 | 0,035  | 0,655  |
| p <sub>32r11</sub>       | 0,6  | 0,9  | 0,8  | 0,5  | 0,9  | 0,7    | 0,3    | 0,7    |        |
| Pri(p <sub>32r11</sub> ) | 0,06 | 0,27 | 0,16 | 0,1  | 0,09 | 0,0175 | 0,0075 | 0,035  | 0,74   |
| p <sub>32r12</sub>       | 0,7  | 0,4  | 0,6  | 0,9  | 0,8  | 1      | 0,9    | 0,7    |        |
| Pri(p <sub>32r12</sub> ) | 0,07 | 0,12 | 0,12 | 0,18 | 0,08 | 0,025  | 0,0225 | 0,035  | 0,6525 |
| p <sub>32r13</sub>       | 0,8  | 0,9  | 1    | 0,7  | 0,9  | 0,3    | 0,5    | 0,9    |        |
| Pri(p <sub>32r13</sub> ) | 0,08 | 0,27 | 0,2  | 0,14 | 0,09 | 0,0075 | 0,0125 | 0,045  | 0,845  |
| p <sub>32r23</sub>       | 0,8  | 0,8  | 1    | 0,9  | 0,6  | 0,8    | 0,4    | 0,9    |        |
| Pri(p <sub>32r23</sub> ) | 0,08 | 0,24 | 0,2  | 0,18 | 0,06 | 0,02   | 0,01   | 0,045  | 0,835  |
| p <sub>33r11</sub>       | 0,2  | 0,7  | 0,9  | 0,8  | 0,6  | 0,9    | 1      | 0,3    |        |
| Pri(p <sub>33r11</sub> ) | 0,02 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,06 | 0,0225 | 0,025  | 0,015  | 0,6925 |
| p <sub>33r12</sub>       | 0,9  | 1    | 0,9  | 0,7  | 0,3  | 0,5    | 0,7    | 0,3    |        |
| Pri(p <sub>33r12</sub> ) | 0,09 | 0,3  | 0,18 | 0,14 | 0,03 | 0,0125 | 0,0175 | 0,015  | 0,785  |
| p <sub>33r13</sub>       | 0,9  | 0,5  | 0,7  | 0,9  | 0,3  | 0,4    | 0,5    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>33r13</sub> ) | 0,09 | 0,15 | 0,14 | 0,18 | 0,03 | 0,01   | 0,0125 | 0,04   | 0,6525 |
| p <sub>33r21</sub>       | 0,4  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,8  | 0,4    | 0,8    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>33r21</sub> ) | 0,04 | 0,18 | 0,14 | 0,16 | 0,08 | 0,01   | 0,02   | 0,04   | 0,67   |
| p <sub>33r22</sub>       | 0,9  | 0,4  | 0,7  | 0,8  | 0,7  | 0,4    | 0,9    | 0,7    |        |
| Pri(p <sub>33r22</sub> ) | 0,09 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,07 | 0,01   | 0,0225 | 0,035  | 0,6475 |
| p <sub>33r23</sub>       | 0,4  | 0,6  | 0,9  | 1    | 0,6  | 0,4    | 0,7    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>33r23</sub> ) | 0,04 | 0,18 | 0,18 | 0,2  | 0,06 | 0,01   | 0,0175 | 0,04   | 0,7275 |
| p <sub>33r32</sub>       | 0,6  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,4  | 0,5    | 0,8    | 0,8    |        |
| Pri(p <sub>33r32</sub> ) | 0,06 | 0,18 | 0,14 | 0,16 | 0,04 | 0,0125 | 0,02   | 0,04   | 0,6525 |

|                          |      |      |      |      |      |        |        |       |        |
|--------------------------|------|------|------|------|------|--------|--------|-------|--------|
| p <sub>33r33</sub>       | 0,6  | 1    | 0,7  | 0,4  | 0,6  | 0,8    | 0,8    | 0,9   |        |
| Pri(p <sub>33r33</sub> ) | 0,06 | 0,3  | 0,14 | 0,08 | 0,06 | 0,02   | 0,02   | 0,045 | 0,725  |
| p <sub>34r12</sub>       | 0,8  | 1    | 0,3  | 0,5  | 0,7  | 0,3    | 0,8    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>34r12</sub> ) | 0,08 | 0,3  | 0,06 | 0,1  | 0,07 | 0,0075 | 0,02   | 0,035 | 0,6725 |
| p <sub>34r13</sub>       | 0,2  | 1    | 0,8  | 0,5  | 0,8  | 0,6    | 0,9    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>34r13</sub> ) | 0,02 | 0,3  | 0,16 | 0,1  | 0,08 | 0,015  | 0,0225 | 0,035 | 0,7325 |
| p <sub>34r22</sub>       | 0,9  | 0,8  | 0,6  | 0,8  | 0,9  | 0,8    | 0,5    | 0,6   |        |
| Pri(p <sub>34r22</sub> ) | 0,09 | 0,24 | 0,12 | 0,16 | 0,09 | 0,02   | 0,0125 | 0,03  | 0,7625 |
| p <sub>34r23</sub>       | 0,4  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 0,5    | 0,9    | 0,6   |        |
| Pri(p <sub>34r23</sub> ) | 0,04 | 0,18 | 0,14 | 0,16 | 0,09 | 0,0125 | 0,0225 | 0,03  | 0,675  |
| p <sub>34r24</sub>       | 0,9  | 0,4  | 0,7  | 0,4  | 0,7  | 0,5    | 0,9    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>34r24</sub> ) | 0,09 | 0,12 | 0,14 | 0,08 | 0,07 | 0,0125 | 0,0225 | 0,035 | 0,57   |
| p <sub>34r31</sub>       | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,9  | 0,7  | 0,9    | 0,6    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>34r31</sub> ) | 0,05 | 0,18 | 0,14 | 0,18 | 0,07 | 0,0225 | 0,015  | 0,035 | 0,6925 |
| p <sub>34r32</sub>       | 0,8  | 0,6  | 0,9  | 0,5  | 0,6  | 0,9    | 0,3    | 0,9   |        |
| Pri(p <sub>34r32</sub> ) | 0,08 | 0,18 | 0,18 | 0,1  | 0,06 | 0,0225 | 0,0075 | 0,045 | 0,675  |
| p <sub>34r33</sub>       | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 0,5  | 0,9  | 0,9    | 0,4    | 0,3   |        |
| Pri(p <sub>34r33</sub> ) | 0,04 | 0,18 | 0,16 | 0,1  | 0,09 | 0,0225 | 0,01   | 0,015 | 0,6175 |
| p <sub>35r12</sub>       | 0,2  | 0,4  | 0,7  | 0,4  | 0,9  | 0,5    | 0,7    | 0,9   |        |
| Pri(p <sub>35r12</sub> ) | 0,02 | 0,12 | 0,14 | 0,08 | 0,09 | 0,0125 | 0,0175 | 0,045 | 0,525  |
| p <sub>35r13</sub>       | 0,8  | 0,9  | 0,7  | 0,3  | 0,9  | 0,8    | 0,7    | 0,4   |        |
| Pri(p <sub>35r13</sub> ) | 0,08 | 0,27 | 0,14 | 0,06 | 0,09 | 0,02   | 0,0175 | 0,02  | 0,6975 |
| p <sub>35r22</sub>       | 0,3  | 0,8  | 0,9  | 0,4  | 0,8  | 0,6    | 0,3    | 0,6   |        |
| Pri(p <sub>35r22</sub> ) | 0,03 | 0,24 | 0,18 | 0,08 | 0,08 | 0,015  | 0,0075 | 0,03  | 0,6625 |
| p <sub>35r24</sub>       | 0,5  | 0,8  | 0,9  | 0,4  | 0,6  | 0,9    | 0,4    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>35r24</sub> ) | 0,05 | 0,24 | 0,18 | 0,08 | 0,06 | 0,0225 | 0,01   | 0,035 | 0,6775 |
| p <sub>35r31</sub>       | 0,9  | 0,8  | 0,7  | 0,4  | 0,8  | 0,3    | 0,4    | 0,8   |        |
| Pri(p <sub>35r31</sub> ) | 0,09 | 0,24 | 0,14 | 0,08 | 0,08 | 0,0075 | 0,01   | 0,04  | 0,6875 |
| p <sub>35r32</sub>       | 0,9  | 0,7  | 0,8  | 0,6  | 0,4  | 0,9    | 0,4    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>35r32</sub> ) | 0,09 | 0,21 | 0,16 | 0,12 | 0,04 | 0,0225 | 0,01   | 0,035 | 0,6875 |
| p <sub>35r33</sub>       | 0,5  | 0,7  | 0,6  | 0,9  | 0,8  | 0,5    | 0,9    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>35r33</sub> ) | 0,05 | 0,21 | 0,12 | 0,18 | 0,08 | 0,0125 | 0,0225 | 0,035 | 0,71   |
| p <sub>36r11</sub>       | 0,8  | 0,9  | 0,6  | 0,5  | 0,8  | 0,9    | 0,9    | 0,6   |        |
| Pri(p <sub>36r11</sub> ) | 0,08 | 0,27 | 0,12 | 0,1  | 0,08 | 0,0225 | 0,0225 | 0,03  | 0,725  |
| p <sub>36r12</sub>       | 0,7  | 0,9  | 0,4  | 0,9  | 0,8  | 0,9    | 0,4    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>36r12</sub> ) | 0,07 | 0,27 | 0,08 | 0,18 | 0,08 | 0,0225 | 0,01   | 0,035 | 0,7475 |
| p <sub>36r13</sub>       | 0,9  | 0,9  | 0,8  | 0,7  | 0,8  | 0,7    | 0,9    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>36r13</sub> ) | 0,09 | 0,27 | 0,16 | 0,14 | 0,08 | 0,0175 | 0,0225 | 0,035 | 0,815  |
| p <sub>36r21</sub>       | 0,8  | 0,9  | 0,5  | 0,3  | 0,7  | 0,7    | 0,9    | 0,9   |        |
| Pri(p <sub>36r21</sub> ) | 0,08 | 0,27 | 0,1  | 0,06 | 0,07 | 0,0175 | 0,0225 | 0,045 | 0,665  |
| p <sub>36r22</sub>       | 0,8  | 0,2  | 0,1  | 0,3  | 0,8  | 0,7    | 0,6    | 0,9   |        |
| Pri(p <sub>36r22</sub> ) | 0,08 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,08 | 0,0175 | 0,015  | 0,045 | 0,3775 |
| p <sub>36r24</sub>       | 0,4  | 0,7  | 0,9  | 0,3  | 0,8  | 0,5    | 0,8    | 0,9   |        |
| Pri(p <sub>36r24</sub> ) | 0,04 | 0,21 | 0,18 | 0,06 | 0,08 | 0,0125 | 0,02   | 0,045 | 0,6475 |
| p <sub>36r31</sub>       | 0,5  | 0,9  | 0,9  | 0,7  | 0,8  | 0,8    | 0,8    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>36r31</sub> ) | 0,05 | 0,27 | 0,18 | 0,14 | 0,08 | 0,02   | 0,02   | 0,035 | 0,795  |
| p <sub>36r32</sub>       | 0,9  | 0,8  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,5    | 0,6    | 0,7   |        |
| Pri(p <sub>36r32</sub> ) | 0,09 | 0,24 | 0,12 | 0,14 | 0,08 | 0,0125 | 0,015  | 0,035 | 0,7325 |

|                          |      |      |      |      |      |        |        |       |        |
|--------------------------|------|------|------|------|------|--------|--------|-------|--------|
| p <sub>36R33</sub>       | 0,2  | 0,7  | 0,4  | 0,8  | 0,8  | 0,9    | 0,4    | 0,5   |        |
| Pri(p <sub>36R33</sub> ) | 0,02 | 0,21 | 0,08 | 0,16 | 0,08 | 0,0225 | 0,01   | 0,025 | 0,6075 |
| p <sub>37R11</sub>       | 0,9  | 0,6  | 0,8  | 0,6  | 0,9  | 0,7    | 0,9    | 0,8   |        |
| Pri(p <sub>37R11</sub> ) | 0,09 | 0,18 | 0,16 | 0,12 | 0,09 | 0,0175 | 0,0225 | 0,04  | 0,72   |
| p <sub>37R12</sub>       | 0,7  | 0,9  | 0,8  | 0,7  | 0,5  | 0,8    | 0,8    | 0,6   |        |
| Pri(p <sub>37R12</sub> ) | 0,07 | 0,27 | 0,16 | 0,14 | 0,05 | 0,02   | 0,02   | 0,03  | 0,76   |
| p <sub>37R21</sub>       | 0,9  | 0,7  | 0,8  | 0,6  | 0,6  | 0,9    | 0,5    | 0,4   |        |
| Pri(p <sub>37R21</sub> ) | 0,09 | 0,21 | 0,16 | 0,12 | 0,06 | 0,0225 | 0,0125 | 0,02  | 0,695  |
| p <sub>37R32</sub>       | 0,8  | 0,9  | 0,5  | 0,3  | 0,8  | 0,7    | 0,4    | 0,6   |        |
| Pri(p <sub>37R32</sub> ) | 0,08 | 0,27 | 0,1  | 0,06 | 0,08 | 0,0175 | 0,01   | 0,03  | 0,6475 |
| p <sub>37R33</sub>       | 0,8  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 0,8  | 0,6    | 0,9    | 0,3   |        |
| Pri(p <sub>37R33</sub> ) | 0,08 | 0,12 | 0,12 | 0,16 | 0,08 | 0,015  | 0,0225 | 0,015 | 0,6125 |

Tabla 20: Valoraciones asignadas a los criterios para calcular la prioridad o preferencia nodal que cada nodo otorgará a cada requerimiento de cada proceso según la carga del nodo.

*Cálculo de las prioridades o preferencias de los procesos para acceder a los recursos compartidos disponibles (se las calcula en el administrador centralizado de recursos compartidos) y determinación del orden en que se asignarán los recursos y a qué proceso será asignado cada recurso*

A partir de las prioridades nodales se deben calcular las prioridades globales o finales, es decir, con qué prioridad, o sea en qué orden, los recursos solicitados serán otorgados y a qué procesos se hará dicho otorgamiento. Para el cálculo de las prioridades finales se utiliza la tabla 21.

| Recursos        | Prioridades Nodales de los Procesos |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                 | os                                  | p <sub>11</sub> | p <sub>12</sub> | p <sub>13</sub> | p <sub>21</sub> | p <sub>22</sub> | p <sub>23</sub> | p <sub>24</sub> | p <sub>25</sub> | p <sub>31</sub> | p <sub>32</sub> | p <sub>33</sub> | p <sub>34</sub> | p <sub>35</sub> | p <sub>36</sub> | p <sub>37</sub> |
| r <sub>11</sub> | 0,715                               | 0,82            | 0,71            | 0               | 0               | 0               | 0,63            | 0               | 0               | 0,74            | 0,692           | 0               | 0               | 0,725           | 0,72            |                 |
|                 |                                     | 5               | 5               |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 5               |                 |                 |                 |                 |                 |
| r <sub>12</sub> | 0,495                               | 0,62            | 0,53            | 0,41            | 0               | 0,6             | 0,692           | 0               | 0               | 0,652           | 0,785           | 0,672           | 0,525           | 0,747           | 0,76            |                 |
|                 |                                     | 5               | 5               |                 |                 |                 | 5               |                 |                 | 5               | 5               |                 |                 | 5               |                 |                 |
| r <sub>13</sub> | 0                                   | 0               | 0,74            | 0,607           | 0               | 0               | 0               | 0               | 0,772           | 0,845           | 0,652           | 0,732           | 0,697           | 0,815           | 0               |                 |
|                 |                                     |                 | 5               |                 |                 |                 |                 |                 | 5               |                 | 5               | 5               | 5               |                 |                 |                 |
| r <sub>21</sub> | 0,355                               | 0,64            | 0,44            | 0               | 0,597           | 0               | 0,6             | 0               | 0               | 0,67            | 0               | 0               | 0,665           | 0,695           |                 |                 |
|                 |                                     |                 |                 |                 | 5               |                 |                 | 5               |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| r <sub>22</sub> | 0,485                               | 0,64            | 0,45            | 0,605           | 0,697           | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0,647           | 0,762           | 0,662           | 0,377           | 0               |                 |
|                 |                                     |                 |                 |                 | 5               |                 |                 |                 |                 |                 | 5               | 5               | 5               | 5               |                 |                 |
| r <sub>23</sub> | 0,785                               | 0               | 0               | 0,572           | 0               | 0               | 0,637           | 0               | 0               | 0,835           | 0,727           | 0,675           | 0               | 0               | 0               |                 |
|                 |                                     |                 |                 | 5               |                 |                 | 5               |                 |                 |                 | 5               |                 |                 |                 |                 |                 |
| r <sub>24</sub> | 0,405                               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0,332           | 0,627           | 0               | 0               | 0               | 0               | 0,57            | 0,677           | 0,647           | 0               |                 |
|                 |                                     |                 |                 |                 |                 | 5               | 5               |                 |                 |                 |                 |                 | 5               | 5               |                 |                 |
| r <sub>31</sub> |                                     | 0,58            | 0,63            | 0,715           | 0,447           | 0,46            | 0               | 0               | 0,585           | 0               | 0               | 0,692           | 0,687           | 0,795           | 0               |                 |
|                 |                                     |                 |                 | 5               |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 5               | 5               |                 |                 |                 |
| r <sub>32</sub> |                                     | 0               | 0,6             | 0               | 0               | 0,52            | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0,652           | 0,675           | 0,687           | 0,732           | 0,647           |
|                 |                                     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 5               |                 | 5               | 5               | 5               |
| r <sub>33</sub> |                                     | 0,7             | 0,61            | 0,65            | 0,507           | 0,635           | 0               | 0               | 0,655           | 0               | 0               | 0,725           | 0,617           | 0,71            | 0,607           | 0,612           |
|                 |                                     |                 | 5               |                 | 5               |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 5               |                 | 5               | 5               |

Tabla 21: Prioridades nodales de los procesos para acceder a cada recurso.

Seguidamente corresponde calcular el vector de pesos finales que se utilizará en el proceso final de agregación para determinar el orden o prioridad de acceso a los recursos; esto se muestra en la tabla 22.

|             | Procesos |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | p11      | p12  | p13  | p21  | p22  | p23  | p24  | p25  | p31  | p32  | p33  | p34  | p35  | p36  | p37  |
| Pesos       | 0,2      | 0,13 | 0,2  | 0,13 | 0,13 | 0,2  | 0,06 | 0,2  | 0,13 | 0,06 | 0,06 | 0,2  | 0,06 | 0,06 | 0,2  |
| Finales     |          | 3    |      | 3    | 3    |      | 7    |      | 3    | 7    | 7    |      | 7    | 7    |      |
| Pesos       | 0,09     | 0,06 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,03 | 0,09 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,09 | 0,03 | 0,03 | 0,09 |
| Finales     | 7        | 5    | 7    | 5    | 5    | 7    | 2    | 7    | 5    | 2    | 2    | 7    | 2    | 2    | 7    |
| Normalizado |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| s           |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Tabla 22: Pesos finales y pesos finales normalizados asignados a los procesos para calcular la prioridad o preferencia final de acceso a los recursos.

Las prioridades nodales indicadas en la tabla 21 tomadas fila por fila, es decir, respecto de cada recurso, se multiplicarán escalarmente por el vector de pesos finales normalizados indicado en la tabla 22 para obtener las prioridades globales finales de acceso de cada proceso a cada recurso y de allí, el orden o prioridad con que se asignarán los recursos y a qué proceso de asignará cada uno de ellos; esto se indica en la tabla 23.

| Recursos        | Prioridades Globales Finales de los Procesos |                            |             |        |             |                           |                  |                                 |     |                  |     |     |     |     |     |
|-----------------|--|----------------------------|-------------|--------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                 | p11  | p12                        | p13         | p21    | p22         | p23                       | p24              | p25                             | p31 | p32              | p33 | p34 | p35 | p36 | p37 |
| r <sub>11</sub> | 0,069  | 0,0530,0690                |             | 0      | 0           | 0,0200                    | 0                | 0,0240,0220                     | 0   | 0,0230,070       |     |     |     |     |     |
| r <sub>12</sub> | 0,048  | 0,04                       | 0,0520,0270 |        | 0,0580,0220 |                           | 0                | 0,0210,0250,0650,0170,0240,074  |     |                  |     |     |     |     |     |
| r <sub>13</sub> | 0  | 0                          | 0,0720,0390 |        | 0           | 0                         | 0                | 0,0500,0270,0210,0710,0230,0260 |     |                  |     |     |     |     |     |
| r <sub>21</sub> | 0,034  | 0,0410,0430                |             | 0,0390 | 0           | 0,0630                    | 0                | 0,0220                          | 0   | 0,0210,067       |     |     |     |     |     |
| r <sub>22</sub> | 0,047  | 0,0410,0440,0390,0450      |             | 0      | 0           | 0                         | 0                | 0,0210,0740,0210,0120           |     |                  |     |     |     |     |     |
| r <sub>23</sub> | 0,076  | 0                          | 0           | 0,0370 | 0           | 0,0210                    | 0                | 0,0270,0230,0650                | 0   | 0                |     |     |     |     |     |
| r <sub>24</sub> | 0,039  | 0                          | 0           | 0      | 0,0320,0200 |                           | 0                | 0                               | 0   | 0,0550,0220,0210 |     |     |     |     |     |
| r <sub>31</sub> | 0  | 0,0370,0610,0460,0290,0450 |             | 0      | 0,0380      | 0                         | 0,0670,0220,0260 |                                 |     |                  |     |     |     |     |     |
| r <sub>32</sub> | 0  | 0                          | 0,0580      | 0      | 0,0500      | 0                         | 0                | 0,0210,0650,0220,0240,063       |     |                  |     |     |     |     |     |
| r <sub>33</sub> | 0  | 0,0450,0600,0420,0330,0610 |             | 0      | 0,0420      | 0,0230,0600,0230,0200,060 |                  |                                 |     |                  |     |     |     |     |     |

Tabla 23: Prioridades globales finales de los procesos para acceder a cada recurso.

El mayor de estos productos hechos para los distintos procesos en relación con el mismo recurso indicará cuál de los procesos tendrá acceso al recurso (en caso de empates se podría optar por dar ganador al proceso identificado con el número menor); esto se muestra en rojo en la tabla 23.

La sumatoria de todos estos productos en relación con el mismo recurso indicará la prioridad que tendrá dicho recurso para ser asignado. Esto constituye la Función de Asignación para Sistemas Distribuidos (FASD), que se muestra en la tabla 24.

El orden final de asignación de los recursos y los procesos destinatarios de estos se obtiene ordenando la tabla 24, lo cual se muestra en la tabla 25. Esto constituye la Función de Asignación para Sistemas Distribuidos Ordenada (FASDO).

| <b>FASD</b>     | <b>Prioridad Global Final Para Asignar el Recurso</b> | <b>Proceso</b>                     |
|-----------------|---|------------------------------------|
| r <sub>11</sub> | 0,35120968  | r <sub>11</sub> al p <sub>37</sub> |
| r <sub>12</sub> | 0,47306452  | r <sub>12</sub> al p <sub>37</sub> |
| r <sub>13</sub> | 0,32862903  | r <sub>13</sub> al p <sub>13</sub> |
| r <sub>21</sub> | 0,33  | r <sub>21</sub> al p <sub>37</sub> |
| r <sub>22</sub> | 0,34403226  | r <sub>22</sub> al p <sub>34</sub> |
| r <sub>23</sub> | 0,24919355  | r <sub>23</sub> al p <sub>11</sub> |
| r <sub>24</sub> | 0,18951613  | r <sub>24</sub> al p <sub>34</sub> |
| r <sub>31</sub> | 0,37048387  | r <sub>31</sub> al p <sub>34</sub> |
| r <sub>32</sub> | 0,30322581  | r <sub>32</sub> al p <sub>34</sub> |
| r <sub>33</sub> | 0,46798387  | r <sub>33</sub> al p <sub>23</sub> |

Tabla 24: Prioridades globales finales para asignar los recursos.

| <b>Prioridad Global Final Ordenada</b> | <b>Asignación</b>                  |
|--|------------------------------------|
| 0,47306452                             | r <sub>12</sub> al p <sub>37</sub> |
| 0,46798387                             | r <sub>33</sub> al p <sub>23</sub> |
| 0,37048387                             | r <sub>31</sub> al p <sub>34</sub> |
| 0,35120968                             | r <sub>11</sub> al p <sub>37</sub> |
| 0,34403226                             | r <sub>22</sub> al p <sub>34</sub> |
| 0,33                                   | r <sub>21</sub> al p <sub>37</sub> |
| 0,32862903                             | r <sub>13</sub> al p <sub>13</sub> |
| 0,30322581                             | r <sub>32</sub> al p <sub>34</sub> |
| 0,24919355                             | r <sub>23</sub> al p <sub>11</sub> |
| 0,18951613                             | r <sub>24</sub> al p <sub>34</sub> |

Tabla 25: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso.

El siguiente paso es reiterar el procedimiento, pero retirando de las solicitudes de recursos las asignaciones ya hechas; también debe tenerse en cuenta que los recursos asignados quedarán disponibles cuando los procesos los hayan liberado, pudiendo por lo tanto ser asignados a otros procesos; el resultado de las sucesivas iteraciones se muestra en las tablas 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36.

| <b>Prioridad Global Final Ordenada</b> | <b>Asignación</b>                  |
|--|------------------------------------|
| 0,40653226                             | r <sub>33</sub> al p <sub>34</sub> |
| 0,39951613                             | r <sub>12</sub> al p <sub>34</sub> |
| 0,30346774                             | r <sub>31</sub> al p <sub>13</sub> |
| 0,28153226                             | r <sub>11</sub> al p <sub>11</sub> |
| 0,27024194                             | r <sub>22</sub> al p <sub>11</sub> |
| 0,26274194                             | r <sub>21</sub> al p <sub>25</sub> |
| 0,25701613                             | r <sub>13</sub> al p <sub>34</sub> |
| 0,23790323                             | r <sub>32</sub> al p <sub>37</sub> |
| 0,17322581                             | r <sub>23</sub> al p <sub>34</sub> |
| 0,13435484                             | r <sub>24</sub> al p <sub>11</sub> |

Tabla 26: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (segunda iteración).

| <b>Prioridad Global Final Ordenada</b> | <b>Asignación</b>                  |
|--|------------------------------------|
| 0,34677419                             | r <sub>33</sub> al p <sub>13</sub> |
| 0,33443548                             | r <sub>12</sub> al p <sub>23</sub> |
| 0,2425                                 | r <sub>31</sub> al p <sub>21</sub> |
| 0,22330645                             | r <sub>22</sub> al p <sub>13</sub> |
| 0,21233871                             | r <sub>11</sub> al p <sub>13</sub> |
| 0,19983871                             | r <sub>21</sub> al p <sub>13</sub> |
| 0,18612903                             | r <sub>13</sub> al p <sub>31</sub> |
| 0,17524194                             | r <sub>32</sub> al p <sub>13</sub> |
| 0,10790323                             | r <sub>23</sub> al p <sub>21</sub> |
| 0,09516129                             | r <sub>24</sub> al p <sub>23</sub> |

Tabla 27: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (tercera iteración).

| <b>Prioridad Global Final Ordenada</b> | <b>Asignación</b>                  |
|--|------------------------------------|
| 0,28725806                             | r <sub>33</sub> al p <sub>37</sub> |
| 0,27637097                             | r <sub>12</sub> al p <sub>13</sub> |
| 0,19637097                             | r <sub>31</sub> al p <sub>23</sub> |
| 0,17975806                             | r <sub>22</sub> al p <sub>12</sub> |
| 0,15725806                             | r <sub>21</sub> al p <sub>12</sub> |
| 0,14314516                             | r <sub>11</sub> al p <sub>12</sub> |
| 0,13629032                             | r <sub>13</sub> al p <sub>21</sub> |
| 0,11717742                             | r <sub>32</sub> al p <sub>23</sub> |
| 0,07096774                             | r <sub>23</sub> al p <sub>32</sub> |
| 0,06298387                             | r <sub>24</sub> al p <sub>35</sub> |

Tabla 28: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (cuarta iteración).

| <b>Prioridad Global Final Ordenada</b> | <b>Asignación</b>                  |
|--|------------------------------------|
| 0,22798387                             | r <sub>33</sub> al p <sub>12</sub> |
| 0,22459677                             | r <sub>12</sub> al p <sub>11</sub> |
| 0,15185484                             | r <sub>31</sub> al p <sub>31</sub> |
| 0,13846774                             | r <sub>22</sub> al p <sub>21</sub> |
| 0,11596774                             | r <sub>21</sub> al p <sub>22</sub> |
| 0,09709677                             | r <sub>13</sub> al p <sub>32</sub> |
| 0,08991935                             | r <sub>11</sub> al p <sub>32</sub> |
| 0,06685484                             | r <sub>32</sub> al p <sub>36</sub> |
| 0,04403226                             | r <sub>23</sub> al p <sub>33</sub> |
| 0,04112903                             | r <sub>24</sub> al p <sub>36</sub> |

Tabla 29: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (quinta iteración).

| <b>Prioridad Global Final Ordenada</b> | <b>Asignación</b>                  |
|--|------------------------------------|
| 0,18282258                             | r <sub>33</sub> al p <sub>31</sub> |
| 0,17669355                             | r <sub>12</sub> al p <sub>12</sub> |
| 0,1141129                              | r <sub>31</sub> al p <sub>12</sub> |
| 0,09943548                             | r <sub>22</sub> al p <sub>22</sub> |
| 0,07741935                             | r <sub>21</sub> al p <sub>11</sub> |
| 0,06983871                             | r <sub>13</sub> al p <sub>36</sub> |
| 0,06604839                             | r <sub>11</sub> al p <sub>36</sub> |
| 0,04322581                             | r <sub>32</sub> al p <sub>35</sub> |
| 0,02056452                             | r <sub>23</sub> al p <sub>24</sub> |
| 0,02024194                             | r <sub>24</sub> al p <sub>24</sub> |

Tabla 30: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (sexta iteración).

| <b>Prioridad Global Final Ordenada</b> | <b>Asignación</b>                  |
|--|------------------------------------|
| 0,14056452                             | r <sub>33</sub> al p <sub>21</sub> |
| 0,13669355                             | r <sub>12</sub> al p <sub>21</sub> |
| 0,07669355                             | r <sub>31</sub> al p <sub>22</sub> |
| 0,05443548                             | r <sub>22</sub> al p <sub>35</sub> |
| 0,04354839                             | r <sub>13</sub> al p <sub>35</sub> |
| 0,04306452                             | r <sub>21</sub> al p <sub>33</sub> |
| 0,04266129                             | r <sub>11</sub> al p <sub>33</sub> |
| 0,02104839                             | r <sub>32</sub> al p <sub>33</sub> |

Tabla 31: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (séptima iteración).

| <b>Prioridad Global Final Ordenada</b> | <b>Asignación</b>                  |
|--|------------------------------------|
| 0,10975806                             | r <sub>12</sub> al p <sub>33</sub> |
| 0,09862903                             | r <sub>33</sub> al p <sub>22</sub> |
| 0,04782258                             | r <sub>31</sub> al p <sub>36</sub> |
| 0,03306452                             | r <sub>22</sub> al p <sub>33</sub> |
| 0,02145161                             | r <sub>21</sub> al p <sub>36</sub> |
| 0,02104839                             | r <sub>13</sub> al p <sub>33</sub> |
| 0,02032258                             | r <sub>11</sub> al p <sub>24</sub> |

Tabla 32: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (octava iteración).

| <b>Prioridad Global Final Ordenada</b> | <b>Asignación</b>                  |
|--|------------------------------------|
| 0,08443548                             | r <sub>12</sub> al p <sub>36</sub> |
| 0,0658871                              | r <sub>33</sub> al p <sub>33</sub> |
| 0,02217742                             | r <sub>31</sub> al p <sub>35</sub> |
| 0,01217742                             | r <sub>22</sub> al p <sub>36</sub> |

Tabla 33: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (novena iteración).

| Prioridad Global Final Ordenada | Asignación                         |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 0,06032258                      | r <sub>12</sub> al p <sub>24</sub> |
| 0,0425                          | r <sub>33</sub> al p <sub>35</sub> |

Tabla 34: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (décima iteración).

| Prioridad Global Final Ordenada | Asignación                         |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 0,03798387                      | r <sub>12</sub> al p <sub>32</sub> |
| 0,01959677                      | r <sub>33</sub> al p <sub>36</sub> |

Tabla 35: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (décimo primera iteración).

| Prioridad Global Final Ordenada | Asignación                         |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 0,01693548                      | r <sub>12</sub> al p <sub>35</sub> |

Tabla 36: Orden o prioridad final de asignación de los recursos y proceso al cual se asigna cada recurso (décimo segunda iteración).

La concatenación de todas estas tablas generadas en las sucesivas iteraciones permite obtener una tabla final de orden de asignación de recursos a procesos, resultante de la llamada FASDC (Función de Asignación para Sistemas Distribuidos Concatenada).

De esta manera se han atendido todas las solicitudes de recursos de todos los procesos respetando la exclusión mutua y las prioridades de los procesos, las prioridades nodales y las prioridades finales.

## 5 Escenarios particulares que podrían presentarse y su tratamiento

La propuesta presentada considera el caso general de procesos, que pueden constituir grupo o ser procesos independientes, a lo que identificaremos como Escenario 1.

En determinadas circunstancias, y para satisfacer requerimientos de las aplicaciones, es necesario contemplar escenarios particulares y en función de ellos agregar pasos adicionales al procedimiento general.

Algunos de los escenarios particulares considerados son los siguientes (La Red Martínez et al., 2017, 2018), (Agostini et al., 2018, 2019a, 2019b, 2019c):

- a) *Escenario 2: Consenso en que cada uno de los procesos de mayor prioridad global reciban consecutivamente la asignación de recursos que solicitan (sin interrupción para asignar recursos a otro proceso con menor prioridad global)*

En este escenario el consenso consiste en que el orden de asignación de recursos a procesos se hará en función de la Prioridad Global Final que corresponda a cada Proceso (PGFP) promediando las prioridades finales calculadas para el otorgamiento de cada recurso solicitado por dicho proceso, que luego se ordena de mayor a menor obteniéndose la PGFP Ordenada (PGFPO).

Lo antes mencionado significa un reordenamiento de la tabla de asignaciones calculada con el procedimiento general (FASDC), resultando ordenadas las asignaciones de recursos comenzando con las requeridas por el proceso de mayor prioridad global final, que recibirá todos los recursos requeridos antes de continuar con el siguiente proceso en orden de prioridad global final; a esto lo denominamos Función de Asignación para Sistemas Distribuidos Concatenada Ordenada (FASDCO), y se muestra en las figuras 3, 4 y 5.

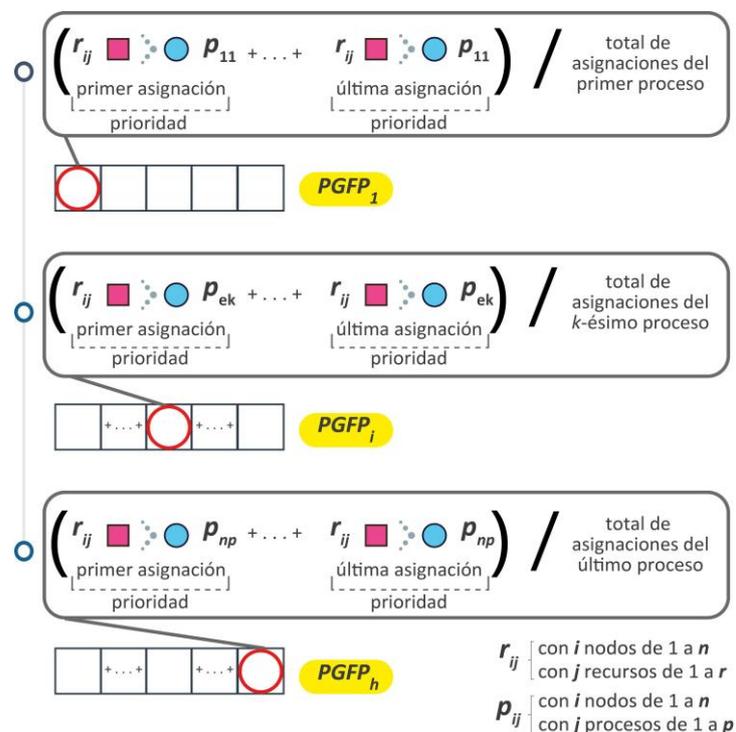


Figura 3. Cálculo de la Prioridad Global Final de cada Proceso (PGFP).

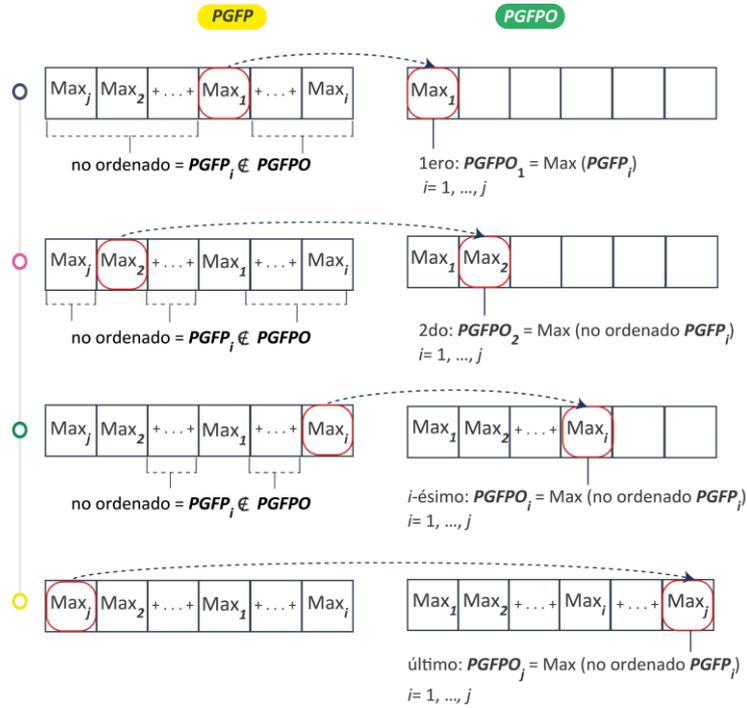


Figura 4: Cálculo de la Prioridad Global Final de Procesos Ordenada (PGFPO).

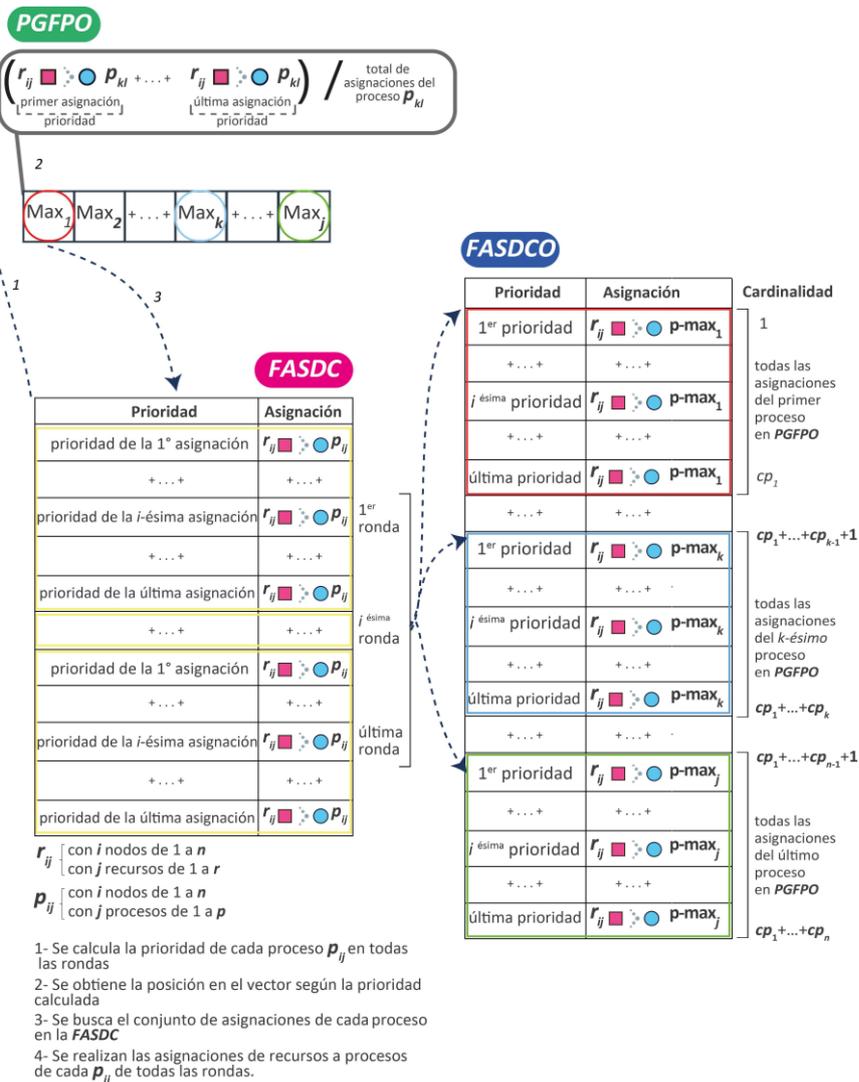


Figura 5: Obtención de la FASDC.

b) *Escenario 3: Consenso en que cada uno de los grupos de procesos de mayor prioridad grupal global reciban consecutivamente la asignación de recursos que solicitan (sin interrupción para asignar recursos a otro proceso de otro grupo con menor prioridad grupal global)*

En este escenario el consenso consiste en que el orden de asignación de recursos a procesos se hará en función de la Prioridad Grupal Global que corresponda a cada grupo de procesos (PGG) promediando las prioridades finales calculadas para el otorgamiento de cada recurso solicitado por dicho grupo de procesos, que luego se ordena de mayor a menor obteniéndose la PGG Ordenada (PGGO).

Lo antes mencionado significa un reordenamiento de la tabla de asignaciones calculada con el procedimiento general (FASDC), resultando ordenadas las asignaciones de recursos comenzando con las requeridas por el grupo de procesos de mayor prioridad grupal global final, que recibirá todos los recursos requeridos antes de continuar con el siguiente grupo de procesos en orden de prioridad grupal global final; a esto lo denominamos Función de Asignación para Sistemas Distribuidos Ordenada Grupal (FASDOG), a cuyo resultado se debe reordenar para evitar situaciones de incompatibilidad entre procesos del grupo que requieren los mismos recursos, los que serán asignados en sucesivas subbrondas de asignaciones compatibles, conforme a la Función de Asignación para Sistemas Distribuidos Ordenada Grupal Compatible (FASDOGC), lo que se muestra en las figuras 6, 7, 8 y 9.

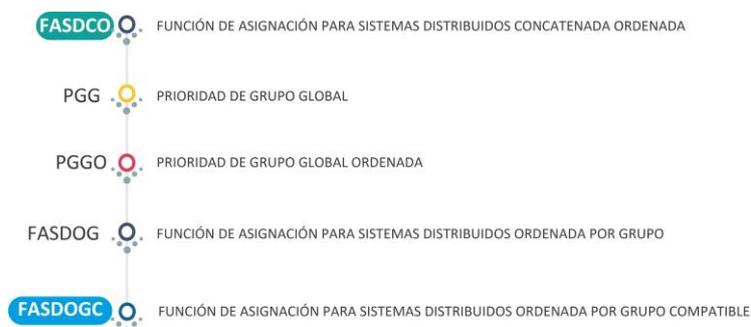


Figura 6. Etapas desde la FASDCO a la FASDOGC.

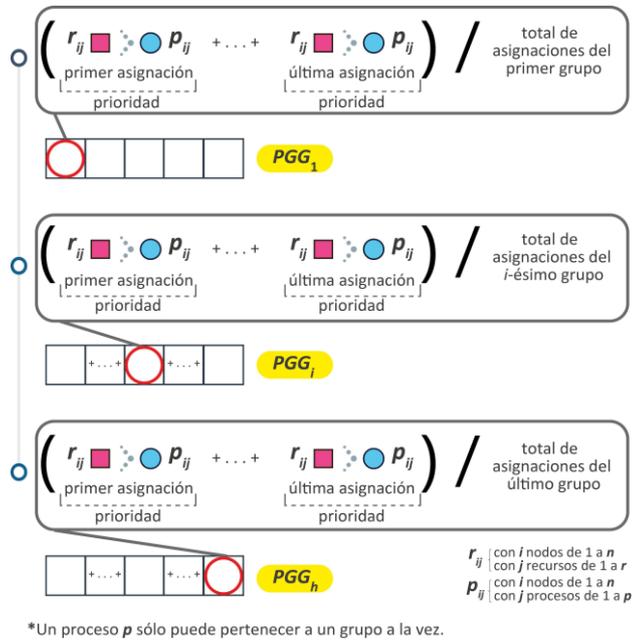


Figura 7: Cálculo de la PGG de cada grupo.

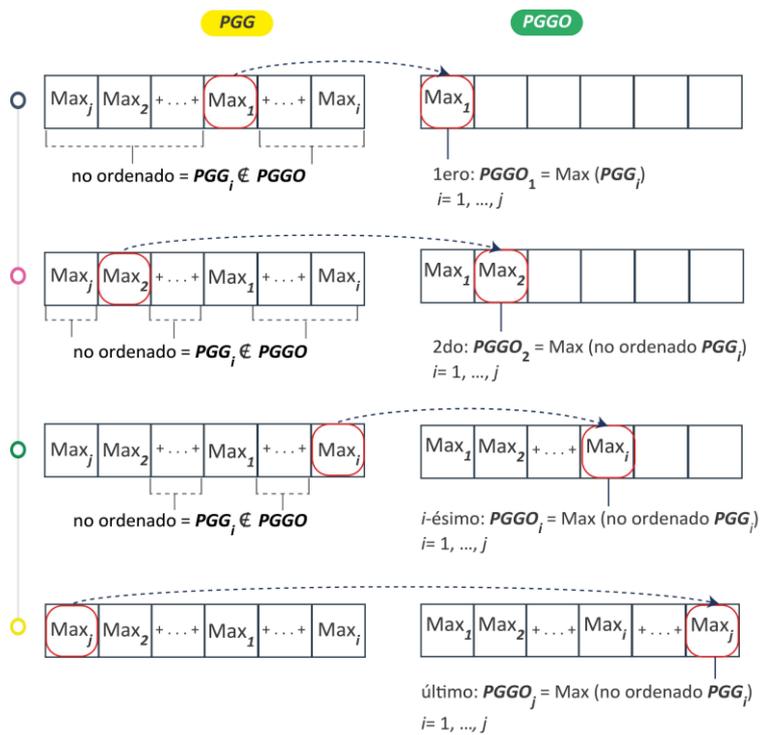


Figura 8: Ejemplo para calcular la PGGO de cada proceso.



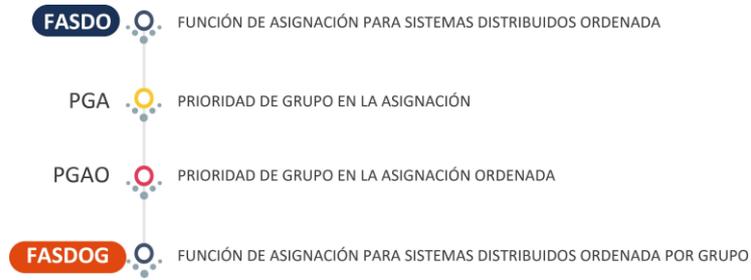
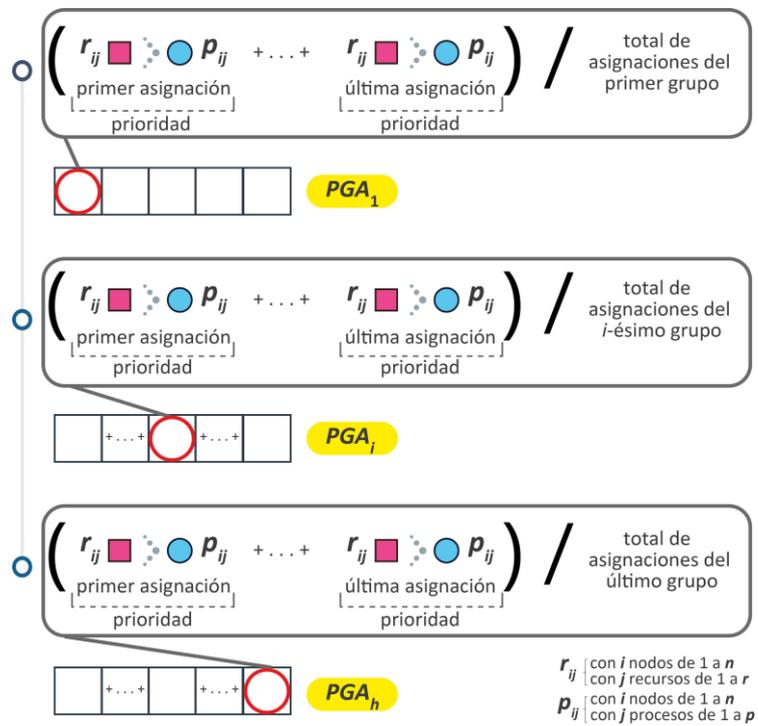


Figura 10. Etapas desde la FASDO a la FASDOG.



\*Un proceso  $p$  sólo puede pertenecer a un grupo a la vez.

Figura 11: Cálculo de la PGA de cada grupo.

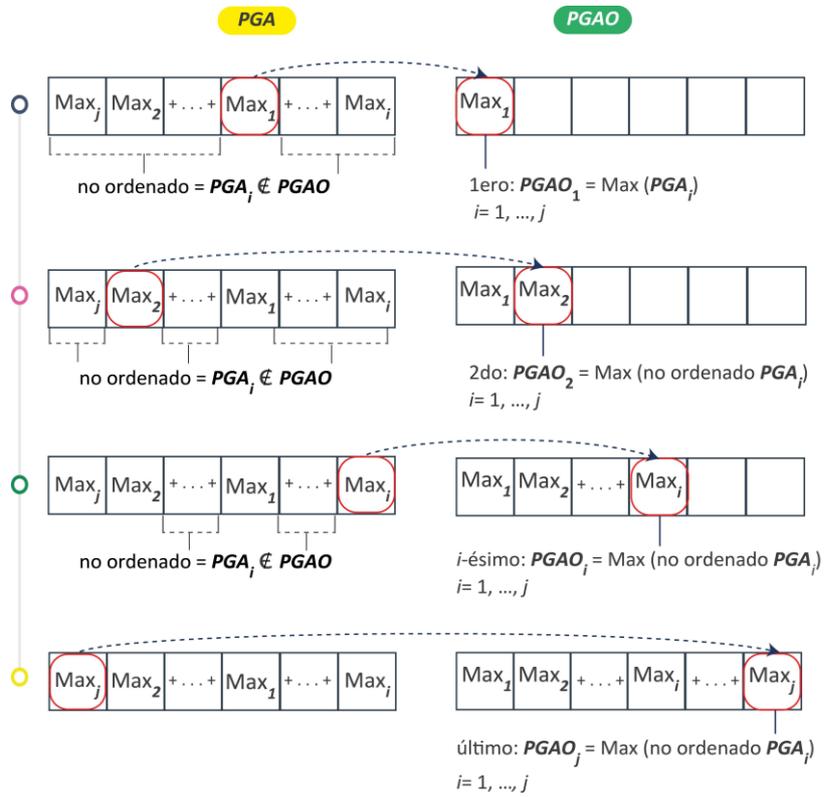


Figura 12: Ejemplo para calcular la PGAO de cada grupo de procesos.

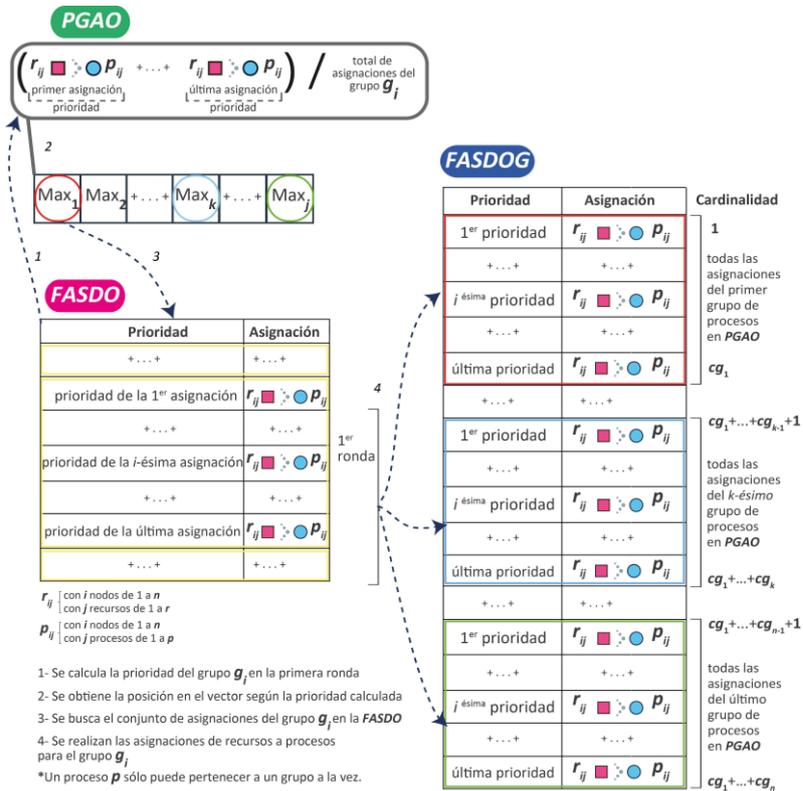


Figura 13: Cálculo desde la FASDO a la FASDOG para la primera ronda de asignaciones.

d) *Escenario 5: La información de control referida al estado de carga nodal y a la sobrecarga que significaría otorgar el acceso a los recursos solicitados, como así también los resultados de prioridades finales de asignación de recursos a procesos, podría estar en formato de 2-tupla utilizando conjuntos de etiquetas lingüísticas*

Esta posibilidad de expresión de los valores de las variables podría utilizarse para cualquiera de los escenarios previstos por el modelo de decisión y sus operadores de agregación.

El conjunto de etiquetas utilizado puede variar en cada nodo, es decir, que el conjunto es independiente del nodo central, y es éste el encargado de realizar la traslación simbólica, proceso que consiste en convertir los conjuntos de etiquetas recibidos en el nodo central, en el conjunto con que este último trabaja, el cual debe ser el de mayor número de etiquetas. De igual manera, esa traslación simbólica se realiza cuando el nodo central devuelve la información final de prioridades a cada nodo (figuras 14 y 15 y tabla 37) (Fornerón Martínez et al., 2020a, 2020b, 2020c, 2021).

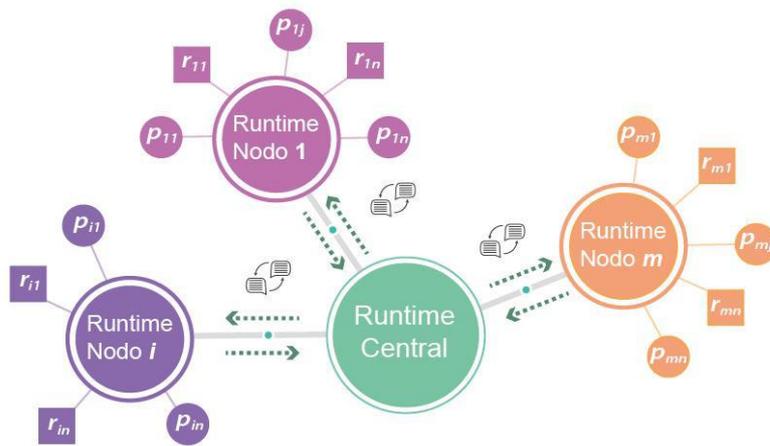


Figura 14: Traslación simbólica ascendente y descendente.

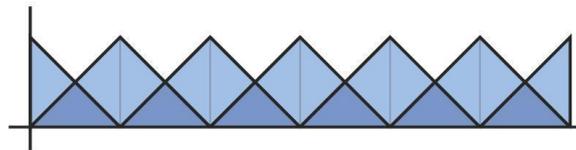


Figura 15: Ejemplo de representación de un conjunto de etiquetas lingüísticas.

| Etiquetas                         | Semántica       |
|-----------------------------------|-----------------|
| EA: Extremadamente Alta prioridad | 0.83; 1; 1      |
| MA: Muy Alta prioridad            | 0.67; 0.83; 1   |
| A: Alta prioridad                 | 0.5; 0.67; 0.83 |
| M: Media prioridad                | 0.33; 0.5; 0.67 |
| B: Baja prioridad                 | 0.17; 0.33; 0.5 |
| MB: Muy Baja prioridad            | 0; 0.17; 0.33   |
| EB: Extremadamente Baja prioridad | 0; 0; 0.17      |

Tabla 37: Semántica correspondiente al conjunto de etiquetas de ejemplo.

## 6 Modelo de decisión propuesto

El objetivo principal del modelo propuesto es considerar el entorno de ejecución distribuida de procesos, que podrán estar agrupados, con distintas exigencias de consenso respecto del acceso a recursos compartidos, para seleccionar el método de agregación más adecuado a cada escenario posible, para generar la secuencia de asignación de los recursos a los procesos que los solicitan, respetando la exclusión mutua en el acceso a dichos recursos.

El modelo considera la información proveniente de la caracterización de los procesos (si los procesos pertenecen a grupos o son independientes, y si la aplicación a la que pertenecen requiere algún tipo de consenso respecto del acceso a los recursos), las prioridades nodales, estado de los nodos, recursos, procesos y del sistema para producir una solución global satisfactoria. Este método evalúa esta información, para determinar cuál es el escenario según la carga de trabajo proporcionada, y en base a ello elige el operador de agregación correspondiente (figura 16).

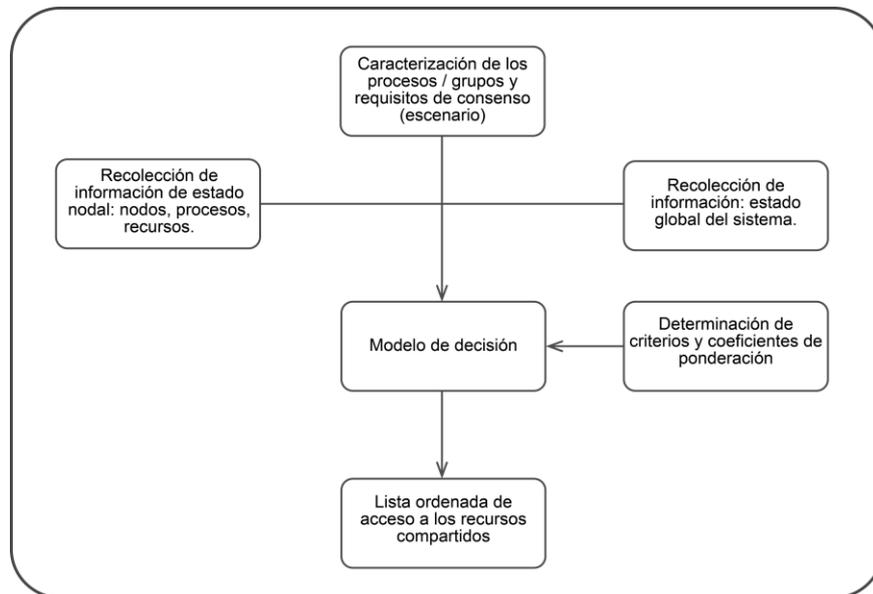


Figura 16: Modelo global de decisión para el acceso a recursos compartidos.

En el modelo de decisión propuesto se ejecuta el primer operador de agregación, que corresponde al escenario general (Función de Asignación en Sistemas Distribuidos, FASD).

De acuerdo a la información ingresada, se podrá seguir con el escenario general o hacer uso de uno de los otros operadores para los siguientes escenarios, la Función de Asignación en Sistemas Distribuidos Concatenada Ordenada, FASDCO (correspondiente al escenario 2), la Función de Asignación para Sistemas Distribuidos Ordenada por Grupo Compatible, FASDOGC (correspondiente al escenario 3), la Función de Asignación para Sistemas Distribuidos Ordenada por Grupo, FASDOG (correspondiente al escenario 4). Seguidamente se deberá aplicar el proceso de resolución (figura 17).

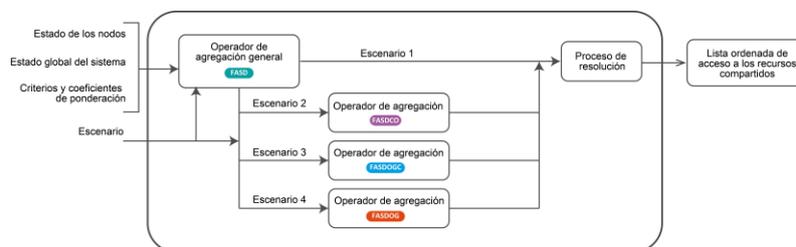


Figura 17: Modelo de decisión propuesto.

En el modelo propuesto, en cada nodo se define una interfaz entre las aplicaciones y el sistema operativo, que a través de un Runtime (software en tiempo de ejecución complementario del sistema operativo) incluido en esa interfaz, gestiona los procesos y recursos compartidos y define el escenario correspondiente. Además, los Runtime interactúan entre sí para intercambiar información y existe un Runtime coordinador global en uno de los nodos que evalúa y ejecuta el modelo de decisión y el operador de agregación correspondiente (figura 18).

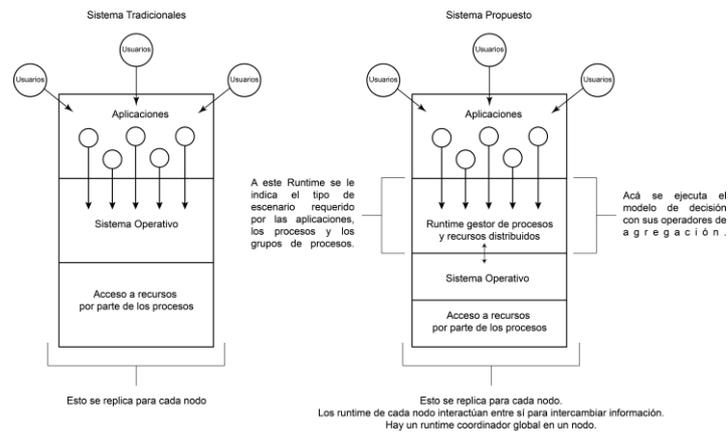


Figura 18: Comparación del modelo propuesto y los modelos tradicionales.

## 7 Breve descripción del prototipo de simulador desarrollado

Se ha desarrollado una aplicación web que permite simular un entorno de sistemas distribuidos, en el que existen un conjunto de nodos que comparten recursos, y que interactúan entre sí intercambiando información de control necesaria para gestionar las asignaciones de recursos a procesos. Se considera que existe un Runtime (software de tiempo de ejecución) en cada nodo, que actúa como interfaz entre el sistema operativo y las aplicaciones, uno de estos nodos, actúa como nodo central y es el encargado de recibir toda esta información y tomar el control de la gestión de esta.

La simulación se hace a partir de la configuración de los parámetros de entrada, consistentes en recrear un entorno distribuido con un conjunto de nodos, los cuales tendrán distintos niveles de carga computacional, que alojarán a distintos recursos y procesos. Estos últimos, podrán ser independientes o pertenecer a grupos.

En este entorno distribuido se plantea una operación en base a macrociclos, que consiste en la recopilación de información de requerimientos de asignaciones de recursos a procesos y de estado de los distintos nodos, que se resolverá con los operadores de agregación pertinentes a los distintos escenarios a simular.

Algunas de las pantallas del simulador se muestran en las figuras 19, 20, 21, 22, 23 y 24.

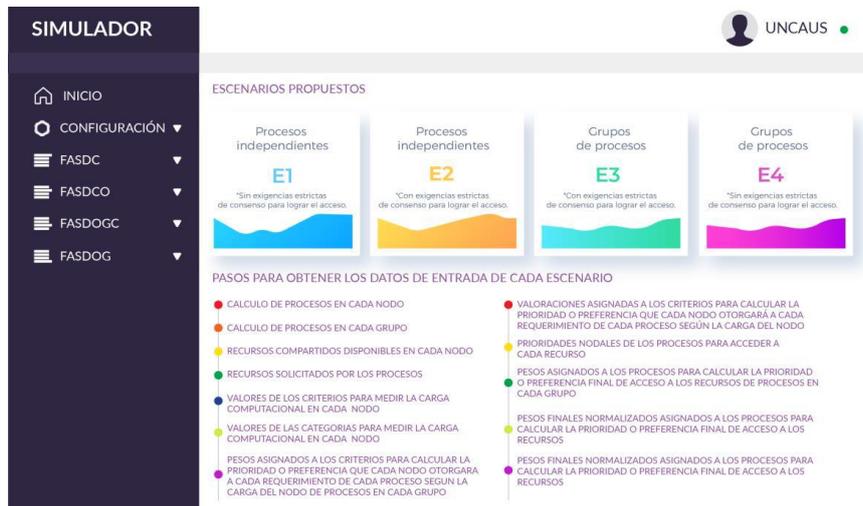


Figura 19: Pantalla principal del simulador.



Figura 20: Configuración de macrociclo, primer paso.

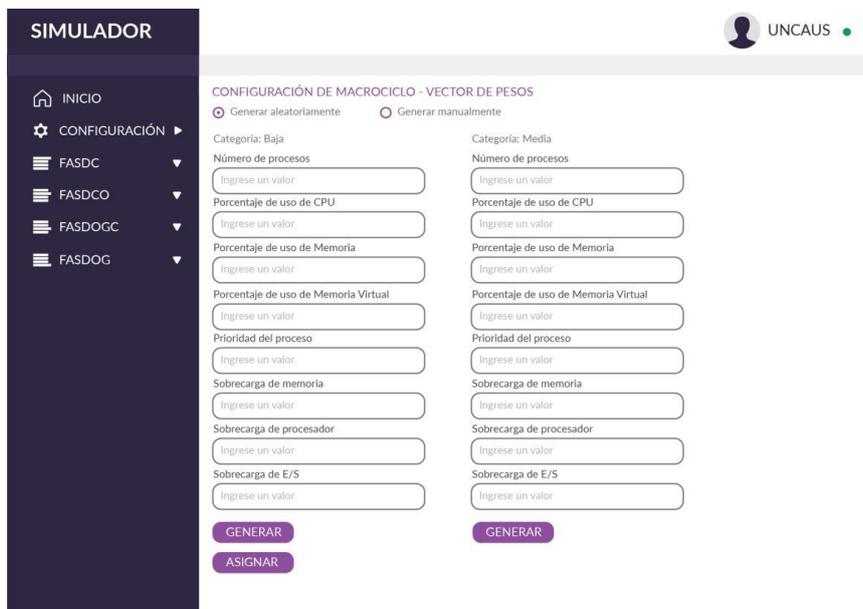


Figura 21: Configuración del vector de pesos.

Figura 22: Configuración de la carga de recursos y procesos.

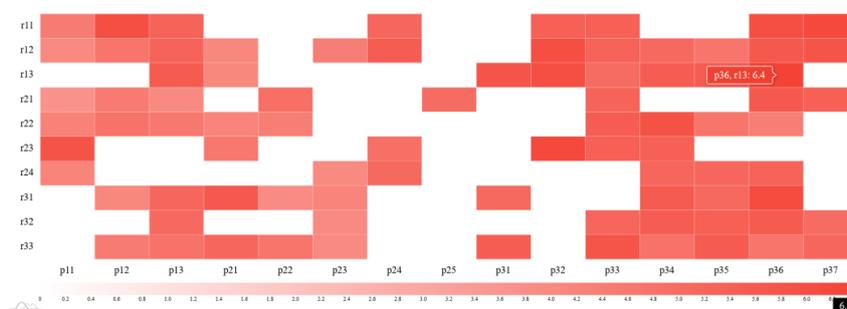


Figura 23: Mapa de calor de asignación de recursos a procesos.

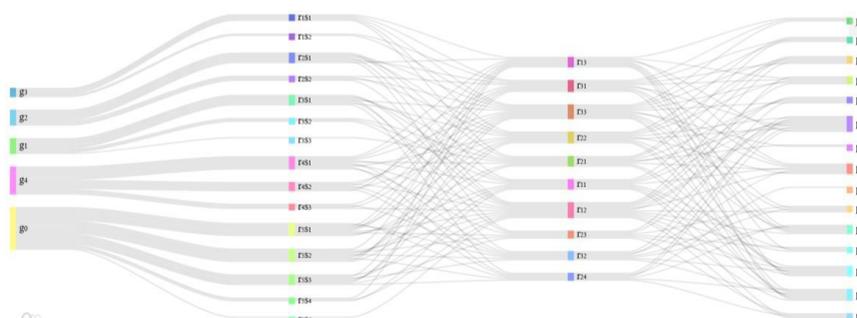


Figura 24: Gráfico de asignaciones de recursos a procesos en subbrandas ordenado por grupos compatibles.

## 8 Consideraciones finales

### Conclusiones

Se ha mostrado la utilidad del modelo propuesto para un escenario básico general y para escenarios particulares con requerimientos específicos relacionados con los procesos y grupos de procesos, incluyendo la utilización de variables numéricas y de etiquetas lingüísticas y 2-tuplas.

El modelo propuesto logra que el sistema distribuido se auto regule reiteradamente en función del estado local de los  $n$  nodos, produciéndose una actualización de los estados locales de los mismos como consecuencia de la evolución de sus respectivos procesos y de las decisiones de acceso a los recursos: el sistema distribuido en el que se ejecutan grupos de procesos que acceden a recursos críticos, se observa a sí mismo y produce decisiones de accesos a recursos que modifican el estado del sistema y lo reajustan reiterativamente, garantizándose además la exclusión mutua en el acceso a los recursos compartidos, indicándose la prioridad de otorgamiento de acceso a cada recurso y el proceso al cual se lo asigna; este proceso se repite mientras haya procesos que soliciten acceso a recursos compartidos.

La propuesta presentada incluye como caso particular algunos de los métodos más utilizados, entre ellos el consistente en considerar sólo la prioridad de los procesos, en vez de un grupo de variables de estado de cada nodo.

Otra característica destacable de la propuesta es la factibilidad de su implementación en el entorno de un administrador centralizado de recursos compartidos de un sistema distribuido (Runtime o software de tiempo de ejecución, que debería actuar en un nodo central, intercambiando información de control con sus similares funcionando en los nodos distribuidos, todos ellos, a su vez, interactuando con los respectivos sistemas operativos).

Se ha desarrollado un simulador con el cual se han estudiado diferentes cargas de trabajo en el sistema distribuido, bajo los diferentes escenarios propuestos, habiéndose obtenido resultados acordes con los modelos teóricos utilizados, que son el sustento del simulador.

### **Futuros trabajos**

Se tiene previsto desarrollar variantes del método propuesto considerando otros operadores de agregación (especialmente de la familia OWA) y la posibilidad de que sea utilizado por un administrador de recursos compartidos distribuido (en vez de centralizado como en el método propuesto).

Además, se continuará trabajando en el agregado de nuevas funcionalidades a la solución propuesta, especialmente el tratamiento de datos (información de control) faltantes mediante imputación y la migración de procesos con el propósito de equilibrar la carga de trabajo entre los distintos nodos y minimizar el consumo de ancho de banda.

### **Agradecimientos**

Un sincero agradecimiento a la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires y al Centro de Estudios en Tecnologías Inteligentes, por la posibilidad de publicar este trabajo.

## Bibliografía

- Agostini, F., Fornerón Martínez, J. T. & La Red Martínez, D. L., “Nuevo operador de agregación para grupos de procesos”, *16ª Conferencia Ibero Americana WWW / Internet (CIAWI)*, Lisboa, Portugal, 2019c.
- Agostini, F. & La Red Martínez, D. L., “Allocation of shared resources”, *14ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información (CISTI)*, Coimbra, Portugal, 2019a.
- Agostini, F., La Red Martínez, D. L. & Acosta, J. C. “Modeling of the consensus using the allocation of resources in distributed systems”, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol. 9, N° 12, 2018, pp. 26-36.
- Agostini, F., La Red Martínez, D. L. & Acosta, J. C. “Assignment of Resources in Distributed Systems with Strict Consensus Requirements”, *10th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics (IMCIC)*, Orlando, USA, 2019b.
- Agrawal, D. & El Abbadi, A., “An Efficient and Fault-Tolerant Solution of Distributed Mutual Exclusion”, *ACM Trans. on Computer Systems*, Vol. 9, 1991, pp. 1-20.
- Andrews, G., *Foundation of Multithreaded, Parallel, and Distributed Programming*, Reading, MA, Addison-Wesley, 2000.
- Attiya, H. & Welch, J., *Distributed Computing Fundamentals, Simulations, and Advanced Topics*, New York, John Wiley, 2nd ed., 2004.
- Birman, K., *Reliable Distributed Systems: Technologies, Web Services and Applications*, New York: Springer-Verlag, 2005.
- Birman, K. P. & Joseph, T., “Reliable Communication in the Presence of Failures”, *ACM Trans. on Computer Systems*, Vol. 5, 1987, pp. 47-76.
- Birman, K. P., Schiper, A. & Stephenson, P., “Lightweight Causal and Atomic Group Multicast”, *ACM Trans. on Computer Systems*, Vol. 9, 1991, pp. 272-314.
- Cao, G. & Singhal, M., “A Delay-Optimal Quorum-Based Mutual Exclusion Algorithm for Distributed Systems”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 12, N° 12, 2001, pp. 1256-1268.
- Chao, X., Kou, G. & Peng, Y., “An optimization model integrating different preference formats”, *6th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC)*, 2016, pp. 228 – 231.
- Chiclana, F., Herrera, F. & Herrera-Viedma, E., “The Ordered Weighted Geometric Operator: Properties and Application”, *Proc. Of 8th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems*, 2000, pp. 985–991.
- Chiclana, F., Herrera, F. & Herrera-Viedma, E., “Integrating Multiplicative Preference Relations in A Multipurpose Decision-Making Model Based on Fuzzy Preference Relations”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 112, 2001, pp. 277–291.
- Chiclana, F., Herrera-Viedma, E., Herrera, F. & Alonso, S., “Induced Ordered Weighted Geometric Operators and Their Use in the Aggregation of Multiplicative Preferences Relations”, *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 19, 2004, pp. 233-255.

- Dong, Y., Li, C.-C. & Herrera, F., “Connecting the linguistic hierarchy and the numerical scale for the 2-tuple linguistic model and its use to deal with hesitant unbalanced linguistic information”, *Information Sciences*, Elsevier, Vol. 367–368, 2016a, pp. 259–278.
- Dong, Y., Zhang, H. & Herrera-Viedma, E., “Consensus reaching model in the complex and dynamic MAGDM problem”, *Knowledge-Based Systems*, Elsevier, Vol. 106, 2016b, pp. 206–219.
- Doña, J. M., Gil, A. M., Peláez, J. I. & La Red Martínez, D. L., “A System Based on the Concept of Linguistic Majority for the Companies Valuation”, *Revista EconoQuantum*, Vol. 8 N° 2, 2011, pp. 121-142.
- Fornerón Martínez, J. T., Agostini, F. & La Red Martínez, D. L., “Resource and Process Management with a Decision Model based on Fuzzy Logic”, *World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI)*, Virtual Conference, Florida, USA, 2020a.
- Fornerón Martínez, J. T., Agostini, F. & La Red Martínez, D. L., “Modelo de Decisión para Gestión de Recursos y Procesos en Sistemas Distribuidos con Balanceo Dinámico de Carga de Trabajo”, *Conferences International Association for Development of the Information Society (IADIS) Ibero – Americanas WWW / Internet y Computación Aplicada*, Virtual Conference, Lisboa, Portugal, 2020b.
- Fornerón Martínez, J. T., Agostini, F. & La Red Martínez, D. L., “Gestión de procesos basado en lógica difusa con estrictos niveles de consenso”, *International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies (IJISEBC)*, Vol. 7, N° 1, Universidad de Huelva, Huelva, España, 2020c.
- Fornerón Martínez, J. T., Agostini, F. & La Red Martínez, D. L., “Modelo de Decisión para Gestión de Procesos y Recursos en Sistemas Distribuidos con Balanceo de Carga de Trabajo”, *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, N° E 42, Universidad de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2021.
- Fullér, R., “OWA Operators in Decision Making”, en Carlsson, C. ed., *Exploring the Limits of Support Systems, TUCS General Publications*, No. 3, Turku Centre for Computer Science, 1996, pp 85-104.
- Greco, S., Matarazzo, B. & Slowinski, R., “Rough sets methodology for sorting problems in presence of multiple attributes and criteria”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 138., 2002, pp. 247-259.
- Guerraoui, R. & Rodrigues, L., *Introduction to Reliable Distributed Programming*, Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- Joseph, T. A. & Birman, K. P., *Reliable Broadcast Protocols*, en *Distributed Systems*, Mullender, S. (Ed). ACM Press. USA, 1989.
- Kaashoek, M. K., *Group Communication in Distributed Computer Systems*, Centrale Huisdrukkerij Vrije Universiteit, Amsterdam, 1992.
- La Red Martínez, D. L., “Aggregation Operator for Assignment of Resources in Distributed Systems”, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol. 8, N° 10, 2017, pp. 406-419.

- La Red Martínez, D. L. & Acosta, J. C., “Aggregation Operators Review - Mathematical Properties and Behavioral Measures”, *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*, Vol. 7, N° 10, 2015, pp. 63-76.
- La Red Martínez, D. L., Acosta, J. C. & Agostini, F. “Assignment of Resources in Distributed Systems”, *9<sup>th</sup> International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics (IMCIC)*, Florida, USA, 2018.
- La Red Martínez, D. L. & Agostini, F. “Modelo de Asignación de Recursos para la Enseñanza de los Procesos Distribuidos”, *Primer Congreso Latinoamericano de Ingeniería – CLADI*, Entre Ríos, Argentina, 2017.
- La Red, D. L., Doña, J. M., Peláez, J. I. & Fernández, E. B., “WKC-OWA, a New Neat-OWA Operator to Aggregate Information in Democratic Decision Problems”, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, World Scientific Publishing Company, Vol. 19, N° 5, 2011a, pp. 759-779.
- La Red, D. L., Peláez, J. I. & Doña, J. M., “A Decision Model to the Representative Democracy with Expanded Vote”, *Pioneer Journal of Computer Science and Engineering Technology*, Vol. 1 N° 1, 2011b, pp. 35-45.
- Lin, S.-D., Lian, Q., Chen, M. & Zhang, Z., “A Practical Distributed Mutual Exclusion Protocol in Dynamic Peer-to-Peer Systems”, *Proc. Third International Workshop on Peer-to-Peer Systems*, Vol. 3279 of Lect. Notes Compo Sc., (La Jolla, CA). Berlin: Springer-Verlag, 2004.
- Liu, J., Yi, L. & Pei, Z., “A new linguistic term transformation method in linguistic decision making”, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 35, 2018, pp. 2403–2412.
- Lodha, S. & Kshemkalyani, A., “A Fair Distributed Mutual Exclusion Algorithm”, *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, Vol. 11, N° 6, 2000, pp. 537-549.
- Lynch, N., *Distributed Algorithms*. San Mateo, CA: Morgan Kauffman, 1996.
- Macedonia, M. R., Zyda, M. J., Pratt, D. R., Brutzman, D. P., & Barham, P. T., “Exploiting Reality with Multicast Groups: A Network Architecture for Large-scale Virtual Environments”, *Proc. of IEEE VRAIS* (RTP, NC), 1995, pp. 2-10.
- Peláez, J. I. & Doña, J. M., “Majority Additive-Ordered Weighting Averaging: A New Neat Ordered Weighting Averaging Operators Based on the Majority Process”, *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 18, N° 4, 2003, pp. 469-481.
- Peláez, J. I., Doña, J. M. & Gómez-Ruiz, J. A., “Analysis of OWA Operators in Decision Making for Modelling the Majority Concept”, *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 186, 2007, pp. 1263-1275.
- Peláez, J. I., Doña, J. M., La Red Martínez, D. L. & Mesas, A., “Majority Opinion in Group Decision Making Using the QMA-OWA Operator”, *Proceeding of ESTYLF*, 2004, pp. 449-454.
- Ricart, G. & Agrawala, A. K., “An Optimal Algorithm for Mutual Exclusion in Computer Networks”, *Commun. of the ACM*, Vol. 24, 1981, pp. 9-17.
- Renesse, R., Birman, K. & Vogels, W., “Astrolabe: A robust and scalable technology for distributed systems monitoring, management, and data mining”, *ACM Transactions on Computer Systems*, Vol. 21, N° 3, 2003.

- Saxena, P. & Rai, J., “A Survey of Permission-Based Distributed Mutual Exclusion Algorithms”, *Computer Standards and Interfaces*, Vol. 25, N° 2, 2003, pp. 159-181.
- Sha, L., Rajkumar, R. & Lehoczky, J. P., “Priority inheritance protocols: An approach to real-time synchronization”, *Computers, IEEE Transactions on*, Vol. 39 N° 9, 1990, pp. 1175–1185.
- Silberschatz, A., Galvin, P. B. & Gagne, G., *Fundamentos de Sistemas Operativos*, 7ma. Edición, McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.U. España, 2006.
- Stallings, W., *Sistemas Operativos*, 5ta. Edición, Pearson Educación S.A. España, 2005.
- Tanenbaum, A. S., *Sistemas Operativos Distribuidos*, Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México, 1996.
- Tanenbaum, A. S., *Sistemas Operativos Modernos*, 3ra. Edición, Pearson Educación S. A. México, 2009.
- Tanenbaum, A. S. & van Steen, M., *Sistemas Distribuidos – Principios y Paradigmas*, 2da. Edición, Pearson Educación S. A. México, 2008.
- Tel, G., *Introduction to Distributed Algorithms*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2<sup>nd</sup> ed., 2000.
- Velazquez, M., “A Survey of Distributed Mutual Exclusion Algorithms”, *Technical Report CS*, University of Colorado at Boulder, 1993, 93-116.
- Wen, T., Chang, K. & Lai, H., “Integrating the 2-tuple linguistic representation and soft set to solve supplier selection problems with incomplete information”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 87: 103248, 2020.
- Yager, R., “On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multi-Criteria Decision Making”, *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 18, 1988, pp. 183-190.
- Yager, R., “Families Of OWA Operators”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 59, 1993, pp. 125-148.
- Yager, R. & Kacprzyk, J., *The Ordered Weighted Averaging Operators. Theory And Applications*, Kluwer Academic Publishers, USA, 1997.
- Yager, R. & Pasi, G., “Modelling Majority Opinion in Multi-Agent Decision Making”, *International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, 2002.

## TIs e Industria 4.0

Objeto del presente trabajo es analizar el impacto de las tecnologías inteligentes TIs, en la nueva etapa de la revolución industrial denominada Industria 4.0.

La primera parte comienza describiendo brevemente la evolución de la Revolución Industrial, desde su inicio aproximadamente en 1750 hasta la actualidad. Se analiza el impacto del desarrollo de la computación sobre los sistemas de manufactura y servicios durante la segunda mitad del siglo XX, como parte de la tercera etapa de la revolución industrial. En este contexto nació la cuarta etapa de la Revolución Industrial. La denominada Industria 4.0 es un nuevo modelo de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación, hecho posible por las tecnologías de la información y comunicaciones TIC's. Se describen las estrategias desarrolladas por los principales países industrializados para aprovechar las nuevas tecnologías, enfatizando los beneficios logrados y los desafíos aun por resolver. Se destaca el plan desarrollado por Japón denominado Sociedad 5.0 (2015), con el objetivo de lograr "una sociedad centrada en el ser humano que equilibre el avance económico con la resolución de problemas sociales por un sistema que integra altamente el ciberespacio y el espacio físico". El proceso de transformaciones que durante más de dos siglos se conoce como Revolución Industrial, hoy amplia su alcance, pasando a ser una verdadera Revolución de la Información, y su próxima etapa será probablemente la de la Sociedad de la Información. Como ejemplos de Industria 4.0, se analizan el impacto de las TIC's sobre la manufactura de automóviles, el futuro de la gestión de integridad de las líneas de transporte de petróleo y gas, y el mantenimiento industrial. Finalmente, se enfatiza la importancia de la innovación tecnológica, y la necesidad de aplicar el concepto de convergencia de las ciencias de la vida, las ciencias físicas, la ingeniería, incluyendo las ciencias sociales, humanidades y las artes escénicas como una estrategia necesaria para potenciar la innovación.

La segunda parte del trabajo trata de responder si las personas estarán mejor de lo que están hoy gracias a la introducción de la IA y Big Data. A medida que la IA y Big Data se desarrollan dentro del marco de las TIC's, como toda innovación tecnológica en la historia de la humanidad, no solo son percibidas por la sociedad por sus beneficios sino también por sus amenazas. Las principales amenazas son descritas en detalle. La percepción de que el fantasma de la IA y Big Data nos acecha es compartida por gran parte de la sociedad. ¿Estamos seguros de que seremos capaces de desarrollar las herramientas para mantener el control de las nuevas tecnologías en beneficio de las personas? ¿Cuál es la salida? ¿Quemar las máquinas? Para responder a estas preguntas se analiza la relación entre la humanidad y sus máquinas. Describiendo la evolución de las extensiones de nuestras capacidades. Hoy se cree que las luchas competitivas de poder por el espacio y los recursos, en que sobreviven los más fuertes justifican solo una parte de la evolución de los seres vivos, ya que también resultan esenciales los aspectos vinculados con la comunicación,

interacción, cooperación y simbiosis<sup>2</sup>. La humanidad esta reforzada tecnológicamente y se encuentra interconectada de manera global. La humanidad y sus máquinas no son algo extraño a la evolución, son extensiones a nuestras capacidades, producto de nuestra evolución como seres vivos. Más que tener temor a la “máquinas” deberíamos conocerlas, aprovechar sus capacidades, que son nuestras capacidades y procurar mantener el control.

Se concluye que es hora de impulsar un cambio de rumbo, promoviendo una nueva sociedad, centrada en el ser humano. Se debe establecer una visión compartida por la sociedad que integre valores éticos y morales, con el mundo de la ciencia y técnica y de las empresas. Esto solo se logrará si participan todas las partes interesadas de la industria, ciencia, política y sociedad y trabajadores juntos, desde una etapa temprana, para hacer que la revolución de la información contribuya a que las personas estén mejor de lo que están hoy gracias a la introducción de la IA y Big Data, y se mitiguen sus consecuencias no deseables.

### **Evolución de la Revolución Industrial. 1750-2022.**

Las tecnologías “inteligentes” están revolucionando la industria. El impacto es tan profundo que se considera que entramos en una nueva etapa del proceso de transformaciones socioeconómicas conocido como la “Revolución industrial”<sup>3</sup>. La primera etapa de la revolución industrial (1.0), que comenzó alrededor de 1750, se basó en la máquina de vapor. La segunda etapa (2.0) se extendió desde fines del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, impulsada por la energía eléctrica, generada por carbón, hidroelectricidad, y petróleo, los métodos de producción en masa y la división de tareas. Esta etapa incluyó el desarrollo de las comunicaciones por medio del telégrafo, teléfono, radio y televisión. En la primera mitad del siglo XX se consolidaron las poderosas industrias automotriz y aeronáutica. El rol de la ciencia fue ampliamente reconocido y valorado por la sociedad. Sin embargo, las tensiones entre capital y trabajo provocaron dramáticos cambios y desigualdades en la sociedad, que contrastaron con la denominación de “progreso” con la que se la caracterizó.

La tercera etapa de la revolución industrial (3.0) comenzó a mediados del siglo XX y continúa hasta la actualidad. Se inicia con la revolución electrónica, a partir del desarrollo del transistor y los circuitos integrados. La ciencia de los materiales surgió como disciplina asociada con fines estratégicos desde los inicios de la “guerra fría”, inmediatamente terminada la segunda guerra mundial, y se considera entre sus logros principales su contribución al desarrollo del transistor inventado en 1947 en U.S.A. El proceso de invención del transistor tuvo desde el comienzo una fuerte orientación industrial. Fue la culminación de un largo proceso de interacción entre ciencia, tecnología y empresas, destacándose el rol del *Bell Telephone Laboratories*, soportado por las gigantescas empresas de las comunicaciones ATT y WE, así como laboratorios militares, y prestigiosos centros universitarios como MIT and Stanford, y todo traccionado por el interés del Departamento de Defensa estadounidense. El MIC (*Military Industrial Complex*) estuvo en

---

<sup>2</sup> Lynn Margulis, Discurso para su investidura como doctora honoris causa, Claustro de la Universidad Autónoma de Barcelona, Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona), 6 junio 2007.

<sup>3</sup> Mario Solari, “El cambio del tecnológico y la sociedad del futuro”, VII Encuentro Interacadémico, “Academias, conocimiento y sociedad”, Buenos Aires, 7 de noviembre 2018.

la base del modelo de innovación tecnológica empleado, permitiendo la formación de grandes centros de investigación y desarrollo tecnológico, que produjeron impactantes logros. En 1951 La Universidad de Stanford establece el Stanford Industrial Park, destinado a apoyar a emprendedores formados en la universidad, contribuyendo con capital de riesgo y algunos contratos provenientes del MIC. De este modo nacen las primeras “startups”, y se construyó una industria local autosuficiente que más tarde se convertiría en lo que hoy se conoce como Silicon Valley. Así, sobre esas sólidas bases, surgió un nuevo modelo de I y D, en el que muy jóvenes emprendedores compiten por el capital de riesgo que eventualmente, si su idea es exitosa, les permitirá crear un “unicornio”. Este proceso, facilitó el inicio del crecimiento de la industria electrónica, y el desarrollo de las TIC’s (Tecnologías de la Información y Comunicaciones).

Durante esta tercera etapa de la revolución industrial (3.0), la introducción de la automatización y control permitió el desarrollo de la robotización. Se impulsó el dominio de la energía nuclear y la industria aeroespacial. Se incluyen dentro de este período la revolución digital, con la difusión de la computación e internet, así como el desarrollo de la biotecnología y nanotecnología.

### **El impacto de la computación sobre los sistemas de manufactura de la industria 3.0.**

La aplicación de las técnicas surgidas de la ciencia computacional, permitieron a partir de los años 70 cambiar radicalmente los sistemas de manufactura. Los nuevos sistemas inicialmente designados como FMS (*Flexible Manufacturing System*) o CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), este último basado en el CAD (*Computer-aided Design*), dieron origen a los FCIMS (*Flexible Computer- Integrated Manufacturing Structure*). La clave de los FCIMS fue el procesamiento interrelacionado de materiales e información que confluyen en una estación, isla o celda de trabajo. La consolidación de las tecnologías PLC (*Programmable Logic Control*), CIM, FMS, FCIMS, automatización y robótica terminaron de configurar en los 90’ lo que hoy se denomina tercera etapa (3.0) de la revolución industrial.

### **La cuarta etapa (4.0) de la Revolución Industrial. Revolución de la Información**

El gran desarrollo de las TIC’s permitió, en el siglo XXI, la convergencia de la Manufactura Integrada por Computadora (CIM) y la automatización junto con la Robótica avanzada y colaborativa, *Smart Manufacturing*, el análisis de datos Big Data, la inteligencia artificial, Web 2.0, Internet de las Cosas (*IoT-Internet-of-Things*), tecnologías 4G y 5G, comunicaciones móviles, la nube, la comunicación máquina a máquina, las plataformas sociales, la fabricación aditiva o impresión 3D, la realidad aumentada, y la simulación computacional.

El Big Data y la inteligencia artificial (IA) conectan los mundos físicos y digital. Se entiende como Big Data al conjunto de datos que se producen en forma digital y se pueden analizar a través de herramientas computacionales<sup>4,5</sup>. El volumen total de datos que se

---

<sup>4</sup> Leonelli, Sabina, "Scientific Research and Big Data", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2020 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/science-big-data/> .

produjeron en el mundo en 2020 fue estimado en 50,5 ZB (Zettabyte  $10^{21}$  bytes). Estos números son imposibles de entender para el sistema cognitivo humano. Requieren de algún tipo de análisis automatizado.

Se define a los sistemas de inteligencia artificial (IA)<sup>6</sup> como sistemas de software (y posiblemente también hardware) diseñados por humanos que, dado un objetivo complejo, actúan en la dimensión física o digital percibiendo su entorno a través de la adquisición de datos, interpretando los datos estructurados o no estructurados recopilados, razonando sobre el conocimiento o procesando la información, derivada de estos datos y decidiendo la mejor acción a tomar para lograr el objetivo dado.

La IA permite realizar prácticas que las personas consideran inteligentes. El desarrollo actual de la ingeniería de software, y la disponibilidad de hardware poderoso, permite vislumbrar que el sueño de las máquinas lúcidas se está convirtiendo en una realidad. Sin embargo, para el estado de desarrollo actual de la IA, en lugar del término “inteligencia”, es apropiado emplear el término “racionalidad”, asociado con la capacidad de la IA de elegir la mejor acción posible para alcanzar un objetivo determinado.

### ¿Cómo nació la Industria 4.0?

A comienzos del 2010, la industria europea percibía que estaba perdiendo competitividad respecto de sus competidores globales. En 2012, la Comisión Europea estableció el objetivo de impulsar la participación de la manufactura en el PIB en la región del 15% al 20% en 2020. Una de las iniciativas estratégicas para lograr esta meta surgió en Alemania y condujo al concepto de industria 4.0.

En 2013, la *National Academy of Science and Engineering (Germany)*, acatech <sup>7</sup>, presentó la iniciativa estratégica *Plattform Industrie 4.0*<sup>8</sup>, a partir de un diagnóstico de la industria alemana, y recomendaciones para que el gobierno alemán considerara a esta iniciativa como política de Estado, con el objeto de dar forma a la cuarta revolución industrial.

Así surgió el concepto de fábrica inteligente (*Smart Factory*), donde los sistemas físicos cibernéticos, toman decisiones autónomas mediante el aprendizaje de las máquinas y el análisis de datos (Big Data). Las empresas pueden establecer redes globales incorporando su maquinaria, sistemas de almacenamiento de información y facilidades de producción en la forma de Sistemas Físicos-Cibernéticos (*Cyber-Physical Systems - CPS*). En el entorno de fabricación, estos Sistemas Físicos-Cibernéticos son capaces de intercambiar información de forma autónoma, desencadenando acciones y controlándose entre ellas en forma independiente.

---

<sup>5</sup> David J.C. MacKay, “Information Theory, Inference, and Learning Algorithms”, Cambridge University Press 2003.

<sup>6</sup> “A definition of AI: Main capabilities and scientific disciplines”, High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, European Commission, B-1049 Brussels, Document made public on 8 April 2019.

<sup>7</sup> acatech – NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING (Germany) The Academy’s Members are prominent scientists from the fields of engineering, the natural sciences and medicine, as well as the humanities and social sciences.

<sup>8</sup> “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0”, Final report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013 Hannover Messe.

Los sistemas ciber físicos incorporan las tecnologías informáticas y de la comunicación a todo tipo de dispositivos, dotándolos de “inteligencia” y autonomía lo que redundará en una mayor eficiencia. Se localizan en los sistemas de transporte, automóviles, fábricas, procesos industriales, hospitales, oficinas, hogares, ciudades y dispositivos personales, configurando una nueva generación de elementos interconectados.

Para lograr implementar estos sistemas, las máquinas físicas (activos físicos) deben estar conectadas a internet. Cuando a un *dark asset* (activo no conectado a internet) se lo conecta súbitamente “existe”. Se sabe dónde está, que está haciendo, y se puede hacer un análisis de los datos y tomar decisiones inteligentes. Las personas, máquinas y procesos industriales interactúan inteligentemente en red. Los componentes se comunican con el equipo de producción por sí mismos, o solicitan una reparación cuando sea necesario.

La integración de estos sistemas de fabricación conecta verticalmente los procesos empresariales dentro de las fábricas y las empresas, así como los conecta horizontalmente a redes de valores dispersas, que se pueden gestionar en tiempo real desde el momento en que se realiza un pedido hasta la logística de salida. Se requiere integrar la ingeniería de extremo a extremo en toda la cadena de valor.

Los beneficios de implementar Industria 4.0 incluyen mejoras significativas al tiempo de funcionamiento de los activos, reducción de costo de mantenimiento y de energía, prevención de interrupción de energía, modificación de la manera de hacer negocios, y digitalización de los procesos de producción generando grandes oportunidades en particular para las pequeñas y medianas empresas.

Entre los grandes desafíos que se deben afrontar para implementar la Industria 4.0 se incluyen las siguientes áreas:

- Desarrollo de una infraestructura de comunicaciones que soporte la distribución de datos, ideas y acciones. 5G.
- Gestión de sistemas complejos. Arquitectura de referencia y estandarización. La economía digitalizada y en red aumentará el número de interfaces entre los diferentes actores, incrementando la necesidad del desarrollo de normas que faciliten la interacción entre los diferentes sectores. El desarrollo de estándares internacionales es más lento que la velocidad de introducción de nuevas tecnologías, esto perjudica a los usuarios en particular a las pymes. Se debe lograr un marco normativo que incorpore las nuevas innovaciones a la legislación existente.
- Asegurar la seguridad y protección de datos. Un problema crítico es la seguridad, especialmente en la industria, el negocio tiene que ser seguro en un 100%, o al menos tan seguro como sea posible. Se requiere una alta certeza de que los datos están seguros, que el sistema no pueda ser hackeado, que nadie pueda tomar el control del know-how y de las unidades de producción, porque las consecuencias económicas pueden ser muy importantes. El ciberdelito ya opera en nuestro país, amenazando a las empresas con el “secuestro” de información y control de sus plantas industriales.
- Organización y diseño del trabajo (*socio-technical approach*). Formación y desarrollo profesional continuo (técnicas digitales de aprendizaje).
- Las tecnologías deben ser configuradas para ser empleadas exitosamente por usuarios que pertenecen a otras culturas y tienen objetivos diferentes de los que iniciaron este proceso de Industria 4.0.

Aun se deben solucionar muchos problemas para que los beneficios de la implementación de la industria 4.0 se materialicen. En particular, la seguridad informática y las normativas para el intercambio de datos resultan un gran desafío que aún no se ha logrado resolver satisfactoriamente.

La Figura 1 esquematiza este nuevo modelo de organización y control de la cadena de valor.



Figura 1.- La Industria 4.0 es un nuevo modelo de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación, hecho posible por las tecnologías de la información y comunicaciones.

Cabe destacar que el diagnóstico inicial realizado por la *National Academy of Science and Engineering (Germany)*, y que condujo a la Industria 4.0, consideró que Alemania tenía las siguientes fortalezas: una de las industrias manufactureras más competitivas en el mundo, líder global en el sector de fabricación de equipos, alto nivel de especialización en investigación, desarrollo y producción de tecnologías innovadoras de fabricación y en la gestión de procesos industriales complejos, alto nivel de competencia en IT, así como un importante Know-how en sistemas integrados y en ingeniería de automatización.

Este modelo de organización y control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación, aprovecha las ventajas competitivas iniciales, como es el caso de los países muy desarrollados como Alemania, que partieron de una Industria 3.0 ya consolidada, a la que le sumaron las TIC's, para comenzar a desarrollar la Industria 4.0.

Otro es el caso de aquellos países con menos desarrollo, en que la industria mayoritaria consolidada todavía es 2.0, con poca participación de las 3.0. Los responsables de desarrollar iniciativas estratégicas 4.0 en esos países deben partir de un adecuado y sincero diagnóstico de la situación, que permita optimizar los recursos para avanzar del modo más efectivo. No sirven las mismas recetas para todos los países.

Contemporáneamente con el modelo Plataforma Industria 4.0 desarrollado en Alemania en 2013 con el objetivo de asegurar y desarrollar una mejor posición internacional de Alemania en la producción industrial, otros países altamente industrializados como USA, China, UK, Japón, también elaboraron planes para aprovechar las nuevas tecnologías de la Internet de Cosas y Servicios en la industria manufacturera, para beneficio de la sociedad a la que pertenecen.

Por ejemplo, China apostó en 2015 a un Plan de tres fases: Fase 1: 2015-2025 “MADE IN CHINA 2025”, Fase 2: 2025-2035 Fortalecer la posición, Fase 3: 2035-2045 Liderar en innovación. Estimando alcanzar el desarrollo tecnológico de Japón, Alemania y Estados Unidos en el 2049.

USA consideró en 2012 el *Strategic Plan for Advanced Manufacturing*, y en 2014 el documento *Revitalize American Manufacturing and Innovation Act*. Destinados a revertir la pérdida de capacidad de innovar debida a la baja actividad fabril frente al crecimiento de los servicios.

Reino Unido (UK) presentó en 2012 el *Plan Strategy High Value Manufacturing*, focalizado en saber fabricar para explotar industrialmente los desarrollos científicos, particularmente de nanociencias y biociencias, con el objeto de lograr la recuperación de la actividad industrial que había pasado de representar un 20% del PIB en 1997 a un 11% en 2009.

Mientras que, Japón elaboró un Plan Sociedad 5.0 (*5th Science and Technology Basic Plan, 2015*), con el objetivo de lograr “una sociedad centrada en el ser humano que equilibre el avance económico con la resolución de problemas sociales por un sistema que integra altamente el ciberespacio y el espacio físico”. Sociedad 5.0 está destinado a hacer crecer la economía nacional y crear empleos, asegurar la salud y la seguridad, hacer las vidas más prósperas y contribuir al desarrollo global. El Plan promueve fuertemente la política de innovación en ciencia y tecnología como una política importante para la economía, la sociedad y el público. También trata de reconstruir la percepción positiva de la sociedad respecto de la ciencia, dañada luego del accidente nuclear de Fukushima. Considera a la nueva sociedad, denominada Sociedad 5.0, como la etapa a la que se debe tender a partir de la actual Sociedad de la Información 4.0. Según Japón, esta sociedad de la información fue precedida por la Sociedad Industrial 3.0 (Revolución Industrial), Sociedad Agrícola 2.0 (Revolución Agrícola), partiendo de la Sociedad 1.0 de cazadores y recolectores.

Como antecedentes del Plan Sociedad 5.0, Japón reconoció a comienzo de los 90' que, a pesar de la creciente automatización y robotización de la manufactura, el concepto de FCIMS (*Flexible Computer- Integrated Manufacturing Structure*) debía estar orientado hacia el ser humano (*Human-oriented FCIS*). De acuerdo con M. Kolar<sup>9</sup> desarrollamos nuestra cultura como forma de controlar las ansiedades existenciales propias de la condición humana, tales como el miedo, la muerte, el sentido de la vida, la esperanza, la soledad, la libertad, incluido el dominio de la peligrosa inclinación agresiva de los individuos. De este modo Japón desarrolló una idea aún más amplia denominada HIBM (*Human-Intelligence-Based Manufacturing*).

### **¿Cómo impacta la Industria 4.0 en la manufactura de automóviles?**

La integración de estas tecnologías permite facilitar una producción industrial de mayor valor agregado, altamente flexible y capaz de la individualización de los productos.

---

<sup>9</sup> M.J. Kolar, “Culture and Success in Manufacturing”, *Human-Intelligence-Based Manufacturing*, London, Ed. Yoshimi Ito, Springer-Verlag, 1993, p.171.

Hace poco más de 100 años, durante la etapa 2.0 de la Revolución Industrial, Henry Ford sostenía *“Un cliente puede tener su automóvil del color que desee, siempre y cuando desee que sea negro”*. Así, Ford empleando la cadena de montaje originalmente desarrollada por Ransom Olds y las teorías de Taylor, logró producir entre 1914 y 1926 millones de Ford T negros, a un ritmo inicialmente de 12 horas por unidad, y alcanzó un ritmo de menos de 2 horas por unidad. Aprovechó que el esmalte negro era el que secaba más rápido y era el más económico.

En la segunda mitad del siglo XX, la robótica avanzada de la etapa 3.0 facilitó notablemente la producción automotriz. Actualmente, la Industria 4.0 tiende a la individualización de los productos según los requerimientos particulares de cada cliente, tal como esquematiza la Figura 2.

### CADENA DE MONTAJE CLÁSICA VS. INDUSTRIA 4.0 CAMBIO DE PARADIGMA

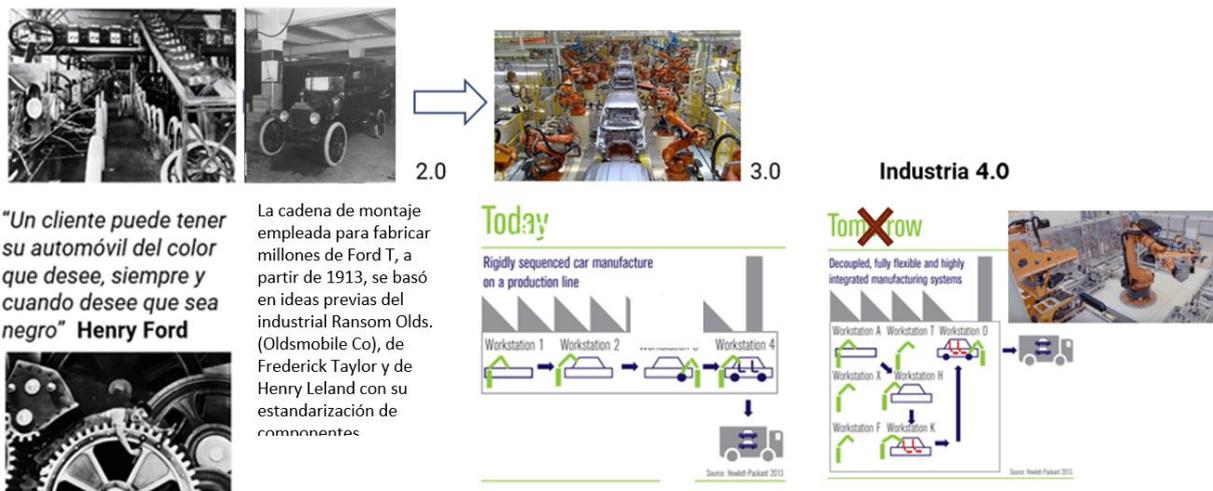


Figura 2.- Cadena de Montaje clásica vs. Industria 4.0. Cambios de paradigmas en la producción de automóviles.

### Otras aplicaciones de las TIC’s al ámbito de la ingeniería

Las TIC’s están aportando grandes beneficios al ámbito de la ingeniería. Además de su impacto en los sistemas de manufactura ya mencionados, consideraré dos ejemplos dentro de la temática de mi incumbencia laboral. Primero presentaré brevemente tendencias en la gestión de integridad de las líneas de transporte de petróleo y gas, y luego en el mantenimiento industrial 4.0.

### El futuro de la gestión de integridad de las líneas de transporte de petróleo y gas

Las líneas de transporte de gas y petróleo son un eslabón crítico en la cadena de suministro, y constituyen el modo de transporte más seguro para llevar productos derivados

del petróleo al mercado. A pesar de este historial de seguridad, ha habido múltiples incidentes de seguridad de alto perfil a lo largo de los años, lo que ha resultado en dispersión de productos, contaminación ambiental y, en algunos casos, pérdida de vidas<sup>10</sup>.

La efectividad de un programa de gestión de la integridad de las tuberías depende de muchos factores: la integración de datos, la identificación de amenazas, el modelado de riesgos y luego la toma de las mejores medidas para mitigar los problemas. La industria del petróleo y el gas está incorporando nuevas tecnologías y soluciones digitales disponibles para ayudar a los operadores de tuberías a lograr un programa de gestión de integridad mejor y más eficiente.

Las herramientas de inspección interna de las tuberías, ILI (*In-line Inspection Tools*), avanzan tecnológicamente en forma permanente, y permiten detectar y localizar indicaciones, que por medio de análisis de ingeniería se pueden caracterizar como defectos, que eventualmente deben ser reparados. Este tipo de inspección genera una enorme cantidad de datos asociadas con el paso de la herramienta, que incluye información georreferenciada.

Los avances en las técnicas de escaneo láser aerotransportado (drones) ofrecen una representación digital 3D cuantitativa de alta calidad de la topografía del suelo. La alineación de los datos derivados por láser (LiDAR) del corredor de la tubería con la posición exacta de la tubería, los datos ILI y CP (*cathodic protection*) permiten generar un mapa virtual de la tubería. Esto proporciona una visión más clara de la condición de la tubería y permite destacar cualquier discontinuidad que pudiera estar relacionada con las características topográficas observadas. Los datos LiDAR también se pueden asignar a algunos de los últimos resultados de ILI del transductor de resonancia acústica (ART *Acoustic Resonance Technology*). La potencial capacidad de detección mejorada de ART ILI proporciona un mayor énfasis al programa, mediante el cual los datos LiDAR de alta precisión se asignan a la salida de ART ILI.

La adquisición de datos necesarios para la gestión de integridad, hasta la actualidad es mayormente de naturaleza discontinua, los datos dependen de ensayos y monitoreos que se realizan con frecuencias de días, meses o años.

En un futuro no muy lejano, la integridad de la tubería se unirá con las tecnologías de medición (corrosión y erosión) en tiempo real, algunas ya existentes, aunque aún no está muy difundido su empleo. Estas tecnologías transforman la velocidad de corrosión en una variable del proceso y brindan otras soluciones digitales, creando un verdadero “gemelo digital” de la tubería. Un oleoducto “virtual” con los mismos atributos y prevenciones del oleoducto “real”.

Por ejemplo, ya existen de monitoreo de tuberías que toman datos en tiempo real de un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), y luego realiza un modelado computacional transitorio en tiempo real, utilizando un modelo físico, termodinámico, a partir de primeros principios, constituyendo un gemelo digital de la tubería, capaz de determinar si se ha producido una fuga. Estos avances permitirán una toma de decisiones integrada y en tiempo real que mejorará significativamente la seguridad, el rendimiento y la rentabilidad a largo plazo de la tubería.

---

<sup>10</sup> Aaron Boettcher and Keith Chambless, “The Future of Pipeline Integrity”, World Pipelines / REPRINTED FROM JUNE 2018

La capacidad de los modelos computacionales en tiempo real para la detección de fugas también permitirá muchos usos innovadores del software, incluido el modelado prospectivo: pronosticar la operación de la tubería en el futuro en función del estado operativo actual de la tubería. Esto permitirá a los operadores disponer de inteligencia predictiva, que indica si se ingresará a un régimen operativo inseguro en el futuro, en función de cómo está operando el gasoducto en la actualidad.

El estándar API 1130<sup>11</sup>: recomienda el uso de modelos matemáticos que operan en tiempo real como el método más preciso y confiable para la detección de fugas. Esta práctica recomendada se centra en el diseño, implementación, prueba y operación de sistemas CPM (*Computational Pipeline Monitoring*) que utilizan un enfoque algorítmico para detectar anomalías en los parámetros de operación de la tubería. El propósito principal de estos sistemas es proporcionar herramientas que ayuden a los controladores de tuberías a detectar liberaciones de productos básicos que están dentro de la sensibilidad del algoritmo.

Disponer de un sistema de tubería virtual, que sea una imagen especular del ducto, un verdadero gemelo digital de la tubería abre oportunidades significativas para mejorar la toma de decisiones y el rendimiento operativo que podría brindar a los operadores de tuberías nuevos niveles de seguridad y rentabilidad. Los proveedores de soluciones para la industria del petróleo y el gas *midstream*, están trabajando para crear un gemelo digital del ducto, aprovechando la experiencia y la capacidad de las aplicaciones de software existentes para la gestión de la integridad de las tuberías, la detección de fugas, el modelado de tuberías, la programación y la gestión comercial.

La IA y Big Data esta potenciado estos modelos, en un futuro próximo los motores de aprendizaje automático (*machine learning*), podrán hacer funcionar el sistema de transporte de O&G virtualmente por sí mismo, con el operador actuando más como piloto de aerolínea cuando el avión está a altitud de crucero, monitoreando el proceso, y solo tomando intervención y control durante escenarios operativos más complejos, como arranque y paradas (despegues y aterrizajes)<sup>12</sup>.

## **Mantenimiento Industrial 4.0**

El poder conectar las máquinas a internet cambia la forma en la que la empresa hace su mantenimiento. Se tiende a organizar el mantenimiento de una máquina en función de su uso y no del calendario. Se busca asegurar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad, disminuir el costo laboral y reducir el inventario de piezas de recambio.

Los operadores de las fábricas recurren cada vez más a sistemas de mantenimiento predictivo que utilizan sensores y software de evaluación de los datos de producción, para anticipar el mantenimiento correctivo con mayor precisión, reducir los tiempos muertos, optimizar el consumo de energía y reducir los costos generales de mantenimiento.

---

<sup>11</sup> API RP 1130, Computational Pipeline Monitoring for Liquids, American Petroleum Institute, 1st Edition, September 2007

<sup>12</sup> Aaron Boettcher and Keith Chambless, "The Future of Pipeline Integrity", World Pipelines / REPRINTED FROM JUNE 2018

La “Industria 4.0” promete llevar la automatización y los servicios al próximo nivel, al proveer flujos constantes de datos operativos que pueden analizarse remotamente y utilizarse para predecir mejor las necesidades de mantenimiento.

El Mantenimiento Industrial 4.0 trata de lograr los siguientes beneficios: reducción del riesgo de roturas, mayor confiabilidad y disponibilidad, reducción de costos y trabajos de mantenimiento, modos operativos más flexibles, y reducción de riesgos.

Por ejemplo, consideremos el caso una turbina de generación hidroeléctrica, implementada con sensores para obtener datos relevantes a su integridad. Supongamos que una combinación de diferentes datos de sensores indica, a los sistemas inteligentes de análisis, una elevada probabilidad de fallo de un componente dentro de tres semanas. Entonces el operador recibe una recomendación para modificar el modo operativo de la turbina para estirar ese período por cinco semanas. Hace el pedido de las partes de repuesto necesarias, cuyo tiempo de entrega es de cuatro semanas. Apaga la turbina después de cuatro semanas y seis días, reemplaza el componente y retoma la operación inmediatamente. La Figura 3 ilustra esta forma de hacer el mantenimiento predictivo y que gracias al Big data y la IA cambia el foco del “negocio”. Los fabricantes de turbinas tienen la capacidad de recibir los datos de los sensores colocados en las máquinas de sus clientes, procesan en forma inteligente la información recibida en forma remota, la comparan con datos del comportamiento de turbinas similares instaladas en otros clientes, y optimizan la reparación requerida. Así, además de proveer turbinas, los fabricantes incrementan su negocio en aproximadamente 30% con la venta de servicios de mantenimiento en forma remota. Un nuevo tema contractual a resolver es el de la propiedad de los datos.



Figura 3.- Hidroelectricidad, Big Data y Mantenimiento Predictivo.

## **Innovación Tecnológica y Convergencia**

La innovación tecnológica tiene un impacto importante en la economía y en la sociedad. (Innovación disruptiva, sostenida y eficiente). La convergencia de las ciencias de la vida, las ciencias físicas, la ingeniería, incluyendo las ciencias sociales, humanidades y las artes escénicas constituye una estrategia necesaria, y actualmente empleada, para impulsar la innovación.

La convergencia impacta en la formación profesional, para formar líderes de proyectos de R&D requiere que tengan un conocimiento profundo sobre múltiples temas, por lo que necesita un largo tiempo de formación. Sin embargo, estos líderes deben competir con los proyectos de las empresas de tecnología de Silicon Valley, conducidos por profesionales emprendedores muy jóvenes con poca experiencia, y mayor disponibilidad de fondos. Aunque descartables sin no tienen éxito con su emprendimiento. Otro aspecto que también promueve la convergencia y la innovación es la diversidad social e intelectual que constituyen componentes críticos.

Un ejemplo de las tecnologías convergentes es el nuevo campo de NBIC (nanociencia, biotecnología, tecnologías de la información y la ciencia cognitiva). Las NBIC amplían o reemplazan a la ciencia de los materiales que tuvo su fortaleza en la última mitad del siglo XX.

### **¿Las personas estarán mejor de lo que están hoy gracias a la introducción de la IA y Big Data?**

La vida digital está aumentando las capacidades humanas en forma disruptiva. Las computadoras pueden igualar o incluso superar las capacidades humanas en tareas tan diversas como la toma de decisiones complejas, el razonamiento y el aprendizaje, el análisis sofisticado y el reconocimiento de patrones, la agudeza visual, el reconocimiento de voz y la traducción de idiomas, y el diseño de vacunas.

A medida que la IA y Big Data se desarrollan dentro del marco de las Tecnologías de Información y Comunicación, TIC's, como toda innovación tecnológica en la historia de la humanidad, no solo son percibidas por la sociedad por sus beneficios sino también por sus amenazas.

A fines del siglo XX, aparece en la sociedad una creciente conciencia respecto de los riesgos manufacturados, y de las limitaciones para lograr un desarrollo integral sostenible, que incluya las dimensiones social, ambiental y ética. El "progreso" no resulta capaz de solucionar algunos de los problemas que origina. El proceso de la Revolución Industrial produjo un aumento sostenido de la renta per cápita y calidad de vida, junto con un aumento de la desigualdad del ingreso<sup>13</sup>.

Hoy percibimos que las personas están experimentando una pérdida de control sobre sus vidas, el uso de los datos en sistemas complejos están diseñados con fines de lucro o para ejercer el poder, la pérdida de puestos de trabajo por parte de la IA ampliará la desigualdad social provocando trastornos sociales, existe la amenaza de una posible

---

<sup>13</sup> Robert E. Lucas, Jr., "The Industrial Revolution: Past and Future". The University of Chicago, September, 1996

reducción de las habilidades cognitivas, sociales y de supervivencia de los individuos, ya se materializan las amenazas asociadas con los dispositivos autónomos (automóviles, armas autónomas, etc.), y la ciberdelincuencia se incrementa día a día.

El Big Data y la IA constituyen un gran riesgo para la privacidad de las personas, ya que permite la manipulación de las voluntades individuales por razones que dicta el consumo o por razones políticas, se promueve el dominio de lo económico sobre lo técnico. El trabajador se convierte en empresario/ emprendedor, que asume los riesgos de capital y laborales, se crean empresas que conducen a la “uberización profesional” (tendencias actuales en abogacía y medicina). Hay una sumisión de lo científico a lo emprendedor. El mercado, el marketing, y los análisis de tendencias determinan lo que los científicos e ingenieros deben hacer.

En el siglo XVII el desarrollo de la ciencia contribuyó a eliminar tanto el principio de autoridad como a la superstición. Hasta el primer cuarto del siglo XX el progreso de la mano de la ciencia prometió a la sociedad soluciones a sus problemas vinculados con el bienestar. La sociedad tenía fe en la ciencia, al punto casi de reemplazar a las religiones. La ciencia otorgaba seguridad y certezas. Esa confianza se fue perdiendo a medida que la capacidad del hombre de “manufacturar catástrofes” fue creciendo (acumular y manipular energías capaces de ser liberadas produciendo explosiones mecánicas, química y nucleares), así como se potenció la capacidad de dañar el medioambiente (contaminación ambiental, catástrofes ecológicas, y cambio climático).

Para Ulrich Beck<sup>14</sup> *“El discurso de los riesgos empieza donde acaba nuestra confianza en nuestra seguridad y deja de ser relevante cuando ocurre la catástrofe potencial”*. El concepto de riesgo caracteriza un peculiar estado intermedio entre seguridad y destrucción, es una categoría social, efecto de la interacción entre la confianza y el miedo.

**SEGURIDAD → RIESGO → CATASTROFE**

Cuando tememos erróneamente algún mal, el temor se desvanece al oír una noticia verdadera, aunque siguiendo a Spinoza<sup>15</sup> *“el temor se desvanece también al oír una noticia falsa”*. Las TIC’s han potenciado el impacto de las noticias falsas, hoy conocidas como *“fake news”*. Los movimientos antivacunas son un ejemplo del empleo de noticias falsas que terminan perjudicando a la sociedad.

Se percibe que la IA y el Big Data se están transformando en un artefacto ingobernable para el público general, y que contribuye a gobernar a los individuos. En el siglo XVII Spinoza<sup>16</sup> afirmaba que *“El temor es la verdadera causa de la superstición...”* agregando que *“no hay medio más eficaz que la superstición para gobernar la muchedumbre”*. En el siglo XXI la IA y Big Data reemplazan a la ciencia y contribuyen a gobernar a los individuos. Tal como expresa Eric Sadin<sup>17</sup> *“el individuo singular y libre plenamente consciente y responsable de sus actos es inducido por las herramientas de IA a que transfiera su responsabilidad humana a la inteligencia “fiable” de las máquinas”*.

---

<sup>14</sup> Ulrich Beck, “La Sociedad del Riesgo: hacia una nueva modernidad”, Barcelona, Paidós, 1998.

<sup>15</sup> Spinoza, Baruch, “Ética demostrada según el orden geométrico”, Madrid, Editora Nacional, 1980.

<sup>16</sup> Spinoza, Baruch, “Tratado Teológico Político”, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Ediciones Libertador, 2005.

<sup>17</sup> Sadin, Eric, “La Silicolonización del Mundo: la irresistible expansión del liberalismo digital”, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Caja Negra Editora, 2018.

Hay evidencias de que por medio del empleo de las nuevas tecnologías de IA y Big Data se logra gobernar a la “muchedumbre”, induciéndola a comportarse según patrones definidos de forma poco transparente y con resultados que pueden ser perjudiciales para la sociedad. Surgen como ejemplo de amenazas reales y activas las decisiones políticas, basadas en una visión de la realidad sesgada ideológicamente y potenciada por el fanatismo.

La percepción de que el fantasma de la IA y Big Data nos acecha es compartida por gran parte de la sociedad, hay temores realmente infundados que desaparecen cuando conocemos en profundidad las nuevas tecnologías, otros temores se asocian con grandes riesgos cuyas consecuencias aun debemos mitigar utilizando el conocimiento existente, y el que seremos capaces de generar. Sin embargo ¿Estamos seguros de que seremos capaces de desarrollar las herramientas para mantener el control de las nuevas tecnologías en beneficio de las personas? Además, las *fake news* y la pérdida de credibilidad del conocimiento científico, paradójicamente potenciadas por las nuevas tecnologías, nos infunden temores sin fundamentos reales, que no somos capaces de rebatir. ¿Cuál es la salida? ¿Quemar las máquinas como intentó el ludismo en Inglaterra al comienzo de la Revolución Industrial (1811 -1816)?

### **La humanidad y sus máquinas.**

Al comienzo de este trabajo, mencionamos que la primera etapa de la revolución industrial trajo grandes y vertiginosos progresos al bienestar de la humanidad. Sin embargo, se profundizó la desigualdad social y crecieron los conflictos. La inicial aversión a las maquinas no cesó. Entre 1850 y 1870 se construyeron 75 000 kilómetros de ferrocarriles en Europa. La máquina a vapor encabezaba la transformación del transporte con grandes beneficios mientras amenazaba a la sociedad.

La disruptiva obra “*On the Origin of Species*” de Charles Darwin fue publicado el 24 de noviembre de 1859. Pocos años después, el 13 de Junio de 1863 en el periódico The Press en Christchurch, Nueva Zelanda, se publicó una correspondencia del novelista inglés Samuel Butler titulada “*Darwin among the Machines*”<sup>18</sup>, quien planteó la posibilidad de que las máquinas fueran un tipo de vida mecánica en constante evolución, considerando la posibilidad de que la máquina tenga conciencia, así como que la máquina puede reproducirse como organismos vivos, y que eventualmente las máquinas pudieran suplantar a los humanos como la especie dominante en el mundo. En 1872 Butler profundizó estas ideas en su novela satírica *Erewhon*: o, *Over the Range*<sup>19</sup>, imaginando una revolución en la que se destruyó la mayoría de las invenciones mecánicas. La imaginaria sociedad *erewhonian* consideraba que las máquinas estaban destinadas en última instancia a suplantar al hombre, y a convertirse en instinto con una vitalidad tan diferente y superior a la de los animales, como lo animal a la vida vegetal. Esta conclusión llevó a que la sociedad imaginaria destruyera las máquinas.

Sin embargo, Butler planteó también otro punto de vista, alegando que las máquinas debían ser consideradas como una parte de la propia naturaleza física del hombre, siendo

---

<sup>18</sup> “[Darwin Among the Machines \[To the Editor of the Press, Christchurch, New Zealand, 13 June 1863.\]](#)”. *New Zealand Electronic Text Centre*. Archived from [the original](#) on 24 May 2006

<sup>19</sup> [Project Gutenberg eBook \*Erewhon\* by Samuel Butler.](#)

en realidad nada más que extremidades extracorpóreas. El hombre, dijo, era un “*machinate mammal*”.

La distinguida bióloga Lynn Margulis<sup>20</sup>, en 2007 consideró que las máquinas no están vivas en sí mismas, pero como los virus, las conchas foraminíferas y las colmenas, se reproducen y evolucionan. Por supuesto, hasta ahora, nosotros las creamos y manufacturamos. Muchas plantas con flores, por ejemplo, requieren que los animales las polinizan y dispersan, aunque, como nosotros y nuestras máquinas, están técnicamente separadas biológicamente. Cuanto más consideramos el papel de las comunicaciones y la infraestructura tecnológica en nuestra supervivencia, dice Margulis, más evidente se hace que ya no somos simplemente un mamífero, sino más, como dijo el escritor del siglo XIX Samuel Butler, un «*machinate*».

La evolución sólo ocurre en un contexto ambiental. Por esta razón Margulis considera que las máquinas y la tecnología humana forman parte cada vez más de un sistema global de vida. Los seres humanos y la tecnología son intrínsecos a las actividades de la biosfera. El medio ambiente debe ajustarse a los organismos tanto como los organismos se ajustan al medio ambiente. Como ejemplo, en un proceso ocurrido a lo largo de 2000 millones de años, como consecuencia de la fotosíntesis bacteriana, el contenido de oxígeno de la atmósfera transformó una atmósfera en la que apenas había oxígeno en la atmósfera actual, que contiene 21% y nos permite vivir. Debido a esta “contaminación natural” de oxígeno, muchas poblaciones de bacterias fueron “exterminadas” y otras evolucionaron para adaptarse.

Para considerar que una entidad está viva, ésta ha de mantenerse activamente contra las adversidades del mundo<sup>21</sup>. La vida responde a las perturbaciones utilizando materia y energía para permanecer intacta. Hoy se cree que las luchas competitivas de poder por el espacio y los recursos, en que sobreviven los más fuertes justifican sólo una parte de la evolución de los seres vivos, ya que también resultan esenciales los aspectos vinculados con la comunicación, interacción, cooperación y simbiosis<sup>22</sup>. La humanidad esta reforzada tecnológicamente y se encuentra interconectada de manera global.

La humanidad y sus máquinas no son algo extraño a la evolución, son extensiones a nuestras capacidades, producto de nuestra evolución como seres vivos. Más que tener temor a la “máquinas” deberíamos conocerlas, aprovechar sus capacidades, que son nuestras capacidades y procurar mantener el control.

### **La evolución de las extensiones de nuestras capacidades.**

La evolución de la técnica permitió perfeccionar algunas capacidades funcionales de nuestros órganos a través del desarrollo de “prótesis”, tanto por medio de implantes artificiales como extensiones extracorpóreas (máquinas / artefactos / herramientas). Se

---

<sup>20</sup> Lynn Margulis, Discurso para su investidura como doctora honoris causa, Claustro de la Universidad Autónoma de Barcelona, Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona Bellaterra (Barcelona), 6 junio 2007.

<sup>21</sup> Lynn Margulis y D. Sagan, Microcosmos, Ed. TusQuets, Buenos Aires, 2013.

<sup>22</sup> Lynn Margulis, Discurso para su investidura como doctora honoris causa, Claustro de la Universidad Autónoma de Barcelona, Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona), 6 junio 2007.

lograron mejorar las capacidades Motoras (Capacidad mecánica para hacer algo), Sensoriales (Capacidad para percibir estímulos externos e internos (vista, olfato, oído, gusto, tacto), Capacidades cerebrales (Memoria), Capacidad de reconocer la realidad circundante y de relacionarse con ella (lenguaje, escritura, arte). Hoy agregamos a esta lista de extensiones de nuestras capacidades, a los desarrollos basados en sistemas de inteligencia artificial (IA) a través de diversas aproximaciones contrapuestas.

La ingeniería de cibernéticos tiende a potenciar seres que combinan las partes orgánicas con partes no orgánicas. Por ejemplo, conectar un cerebro a una computadora, con el objeto de lograr tener una capa de inteligencia artificial que pueda funcionar biológicamente dentro de nosotros. Elon Musk presenta los logros de su empresa Neuralink, empresa dedicada a la neurotecnología, relacionados con el desarrollo de un chip diseñado para implantar inteligencia artificial en el cerebro humano, por ahora con la finalidad de curar enfermedades neurológicas como Alzheimer, Parkinson, y lesiones de médula espinal. Sin embargo, Musk dice que, a largo plazo, la sofisticada red neuronal de Neuralink podría situar a una persona por completo dentro de una realidad virtual, fusionar a la humanidad con la inteligencia artificial.

Otro camino es el que sigue Mark Zuckerberg, a través de META (Facebook, WhatsApp e Instagram), invirtiendo en la siguiente generación de internet basada en el concepto de metaverso o metauniverso. Se busca lograr una experiencia inmersiva y multisensorial en el uso aplicado de diversos dispositivos, por ejemplo, gafas, y desarrollos tecnológicos en internet.

También se realizan importantes avances en el campo de la ingeniería de vida inorgánica. Intentando que los programas informáticos puedan experimentar una evolución independiente creando así una mente dentro de una computadora.

Para avanzar en este camino se necesita conocer en profundidad cómo funciona nuestro cerebro. El Proyecto Cerebro Humano (EU-HBP<sup>23</sup> Human Brain Project) es uno de los proyectos de R&D más grandes del mundo, y es desarrollado dentro del marco de la Unión Europea. Para intentar vencer la complejidad del cerebro, el proyecto está construyendo una infraestructura de investigación (EBRAINS) destinada a avanzar en la neurociencia, la medicina, la computación y las tecnologías inspiradas en el cerebro. Además, el proyecto estudia las implicaciones éticas y sociales del avance de la neurociencia y campos relacionados. En su fase final (abril de 2020 - marzo de 2023), el enfoque del HBP es avanzar en tres áreas científicas centrales: las redes cerebrales, su papel en la conciencia y las redes neuronales artificiales, al tiempo que expande aún más EBRAINS.

Sigmund Freud<sup>24</sup> reflexionaba en 1930 que *“El hombre ha llegado a ser por así decirlo, un dios con prótesis: bastante magnífico cuando se coloca todos sus artefactos; pero éstos no crecen de su cuerpo y a veces aun le procuran muchos sinsabores”* ..... *“Tiempos futuros traerán nuevos y quizá inconcebibles progresos en este terreno de la cultura, exaltando aún más la deificación del hombre”*.

Considerando la aceleración del cambio tecnológico podemos pensar que las tecnologías inteligentes, que hoy nos desvelan por sus tremendos éxitos y por las amenazas

---

<sup>23</sup> European Union's Horizon 2020 Framework Programme for Research and Innovation under the Framework Partnership Agreement No. 650003 (Human Brain Project FPA)

<sup>24</sup> Freud, Sigmund, “El malestar en la cultura”, trad. de A. Brotons Muñoz, Madrid, Akal, 2017

que representan, serán reemplazadas en un mediano plazo. Las computadoras cuánticas y la IA cuántica, potenciadas entre sí, tendrán en ¿2030? un impredecible impacto sobre las ciencias, los negocios y sobre toda la sociedad. Puede ser el comienzo del fin de la era del silicio y de la digitalización tal como la conocemos hoy.

## Conclusiones

La etapa actual del proceso de transformaciones socioeconómicas iniciado en 1750, aún se sigue asociando con la industria (Industria 4.0), aunque el elemento más importante actualmente es la información. Estamos dentro de la revolución de la información, o de la sociedad de la información.

La TIC's han cambiado los paradigmas de la industria y los servicios. A pesar de que los logros alcanzados brindan grandes beneficios para la sociedad actual, seguimos sin resolver muchas de las evidentes contradicciones y amenazas que han acompañado el proceso de la revolución industrial desde sus inicios, y que hoy se han profundizado de la mano del Big Data y la IA.

Es hora de impulsar un cambio de rumbo, promoviendo una nueva sociedad, centrada en el ser humano, que equilibre el avance económico con la resolución de problemas sociales por medio de un sistema que integre altamente el ciberespacio y el espacio físico. Con lineamientos similares a los propuestos por Japón en 2015, en el proyecto Sociedad 5.0<sup>25</sup>, aunque adaptados a la cultura de nuestra sociedad.

Se debe establecer una visión compartida por la sociedad que integre valores éticos y morales, con el mundo de la ciencia y técnica y de las empresas. En nuestro país es necesario implementar políticas de desarrollo integral<sup>26</sup> capaces de crear empleos, asegurar la salud y la seguridad, hacer las vidas más prósperas y contribuir al desarrollo global.

Debe considerarse que sólo si participan todas las partes interesadas de la industria, ciencia, política y sociedad y trabajadores juntos, desde una etapa temprana, podrán hacer que la revolución de la información contribuya a que las personas estén mejor de lo que están hoy gracias a la introducción de la IA y Big Data, y se mitiguen sus consecuencias no deseables.

---

<sup>25</sup> 5º Plan Básico de Ciencia y Tecnología (December 18, 2015)

[https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html)

<sup>26</sup> El desarrollo integral está destinado a satisfacer las necesidades humanas, tanto materiales como espirituales; con especial atención a las necesidades no satisfechas de las mayorías poblacionales con bajos ingresos, consiste en una serie de políticas que trabajan conjuntamente para fomentar el desarrollo sostenible del país.

## SEMBLANZAS DE LOS AUTORES

**Juan Carlos Ferreri** se graduó como Ingeniero Aeronáutico en la Universidad de La Plata en 1967 y ha dedicado su carrera profesional al campo particular de la Mecánica de los Fluidos computacional y la transferencia de calor y materia y es considerado un pionero en dicha actividad en la Argentina. En los últimos treinta y cinco años (hasta su retiro) ha dedicado su trabajo a la Seguridad e Ingeniería Nuclear en la Autoridad Regulatoria Nuclear de Argentina. También ha contribuido investigaciones en la arqueometría de hogares de combustión prehistóricos desde hace más de tres décadas.

Ha sido investigador del CONICET, desde 2009 es miembro de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires y llegó a presidirla desde 2017 hasta 2021. Recibió el premio 2004, categoría Senior, a la Trayectoria Profesional, de Investigación y Docencia en Argentina de la Asociación de Mecánica Computacional de la Argentina (AMCA). Ha sido miembro y presidente del Comité Argentino de Transferencia de Calor y Materia (CONICET). Ha sido también profesor de posgrado en diferentes universidades por períodos cortos y miembro de comités asesores en universidades, en el CONICET y en otras instituciones. Es revisor de trabajos para algunas revistas internacionales. Ha sido miembro de numerosos comités organizadores y científicos en reuniones nacionales e internacionales. Ha dictado cursos de posgrado en Argentina, EEUU, Italia, Perú, China y Francia y dictado decenas de seminarios y conferencias invitadas en Argentina y el extranjero. Ha publicado más de 110 trabajos en su área de conocimiento.



**Lilian del Castillo** es escribana y abogada por la Universidad de Buenos Aires (UBA), doctora en derecho y profesora titular de Derecho Internacional Público en la Facultad de Derecho de la Universidad de Buenos Aires (UBA), donde integra además la Comisión de Doctorado. Dicta cursos de grado y de posgrado, y conferencias en temas de su especialidad, entre los que se encuentran Inmunidades jurisdiccionales, Tribunales Internacionales, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Acuíferos transfronterizos, Derecho del Mar, Régimen Internacional del Agua, Responsabilidad del Estado, la Cuestión de las Islas Malvinas, Régimen de la Antártida y de las regiones polares, entre otros. En su labor profesional se desempeñó en el período 1984-2010 en el Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, Subsecretaría de Política Latinoamericana, como Director de la Dirección del Tratado de la Cuenca del Plata (1984 – 1999) y como Coordinadora de la Dirección de Coordinación de las Comisiones de la Cuenca del Plata (2000 – 2010)



|  |   |
|--|---|
| <p>En las membresías académicas, la Profesora del Castillo es Miembro de número de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires y, entre otras asociaciones puede destacarse que es miembro consejero del Consejo Argentino para las Relaciones Internacionales (CARD), en el que es Directora del Comité para la Cuestión de las Islas Malvinas y Atlántico Sur; miembro titular de la Asociación Argentina de Derecho Internacional (AADI); miembro de la International Law Association (ILA) (Rama Argentina, Vice-presidente), de la American Society of International Law (ASIL), de la European Society of International Law (ESIL), de la Sociedad Latinoamericana de Derecho Internacional (SLADI), de la Asociación Internacional de Derecho de Aguas (AIDA – Executive Council Member), de la International Water Ressources Association (IWRA- Fellow Member), del Instituto Argentino de Recursos Hídricos (IARH), de la Academia del Mar y de la Academia Argentina de Ciencias del Ambiente.</p> |   |
| <p><b>Marcelo Urbano Salerno</b> Abogado (1961) y Doctor en Derecho y Ciencias Sociales (1974), tesis calificada sobresaliente, de la Universidad de Buenos Aires, donde ejerció la docencia desde el año 1968 hasta el año 1997, retirándose en el carácter de profesor titular de derecho civil. Es Profesor Emérito de la Universidad Católica Argentina. Fue profesor asociado de la Universidad Paris II de Francia (1985/1986) y ha sido profesor invitado en las Universidades de Rennes y de Orleans. Dictó cursos de doctorado en distintas universidades de Brasil desde el año 1994 en adelante. Fue Decano de la Facultad de Derecho de la Universidad del Museo Social Argentino. Ha publicado varios libros y artículos relativos al derecho privado, algunos de éstos en revistas extranjeras. Dictó conferencias y asistió a congresos en diversos países.</p>   |   |
| <p><b>Roberto J. Walton</b> Doctor en Filosofía por la Universidad de Buenos Aires. Investigador Superior jubilado del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y Profesor emérito en la Universidad de Buenos Aires. Director del Centro de Estudios Filosóficos de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires. Autor de Mundo, conciencia, temporalidad (Buenos Aires, 1993), El fenómeno y sus configuraciones (Buenos Aires, 1993), Introducción al pensamiento fenomenológico (con Angela Ales Bello, Buenos Aires, 2013), Intencionalidad y horizonticidad (Bogotá, 2015), Horizonticidad e historicidad (Bogotá, 2019), Historicidad y metahistoria (Bogotá, 2020).</p>   |  |
| <p><b>Natascia Arcifa</b> nació el 18 de mayo de 1993. Se graduó en Derecho en la Universidad de Catania, con una tesis de derecho internacional sobre la protección de los derechos humanos en la era de las armas inteligentes. Tiene una formación en gestión corporativa y comunicación. Trabaja en asociaciones de promoción cultural a nivel local y europeo, organizando eventos sobre temas de interés para la comunidad; hoy es joven embajadora. Fundó una red de jóvenes europeos que promueve la ciudadanía activa en</p>  |  |

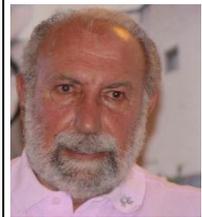
|   |  |
|---|--|
| <p>colaboración con la Mesa del Parlamento Europeo en Italia con el network jóvenes para la que modera una mesa de debate sobre derechos humanos. Contribuyó realizando un workshop sobre aspectos ético-jurídicos de la inteligencia artificial durante el European Youth Event 2018 en el Parlamento Europeo. Participó como orador en el ciclo SAI (Sistemas Administrativos Inteligentes) de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires para el tema de ética e inteligencia artificial relacionado con la regulación de armas autónomas letales (2020) y para la aplicación de la Inteligencia Artificial en la Administración Pública (2021). Actualmente escribe sobre aspectos ético-jurídicos relacionados con las nuevas tecnologías para revistas científicas de Argentina e Italia, como La Rivista italiana di informatica e diritto y la Revista de Ciencia de la Legislación de la Universidad del Salvador; en 2021 colaboró en el libro " La Administración Pública del Futuro", promovido por GenY e ISOC.</p>  |  |
| <p><b>Laura Cecilia Diaz Dávila</b> es Académica e Investigadora Experta (II-SPU) en Inteligencia Artificial (IA) aplicada a las ciencias sociales. Realizó sus estudios de grado y postgrado en Córdoba. Es Doctora en Administración y Política Pública, Magister en Administración Pública, Ingeniera Especialista en Calidad e Ingeniera Civil. Es Profesora (Responsable Titular) de Inteligencia Artificial de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) y en diversos Postgrados en el país.</p> <p>En el Laboratorio de Innovación e Inteligencia Artificial de la Universidad de Buenos Aires (UBA-IALAB) es Investigadora Experta en IA, codirige el Programa Multidisciplinario de Inteligencia Artificial Aplicada y participa activamente de diversos Programas.</p> <p>Actualmente su interés se centra en el ecosistema de la Inteligencia Artificial, con un enfoque multidisciplinario inspirado en las habilidades requeridas para el diseño, desarrollo y despliegue de la IA aplicada hacia el bien común.</p> <p>Es representante de la UNC ante la red de macro universidades de América Latina y el Caribe en el grupo de Inteligencia Artificial Aplicada. Es miembro del directorio del Centro de Estudios Estratégicos de Derecho de la Inteligencia Artificial (CEEDIA) y del Consejo del Departamento Universitario de Informática (DUI) de la UNC.</p> <p>Dirige y ha dirigido tesis de grado y postgrado, y proyectos y programas de investigación acreditados desde la UNC.</p> <p>Participa y ha participado como evaluadora de tesinas de grado, trabajos finales de carrera, tesis de postgrado, proyectos de investigación de diversas universidades del país y proyectos de desarrollo tecnológico social (PDTS).</p> <p>Integra el Banco único de Evaluadores del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN - Argentina) y el Banco de Evaluadores de CACES (Ecuador) en Educación Superior.</p> <p>En los roles de: miembro de comité académico, organizadora, conferencista invitada, expositora, autora y/o directora de trabajos, participa y ha</p> |  |

|  |   |
|--|---|
| <p>participado en eventos científicos tecnológicos, nacionales e internacionales, y realizado publicaciones en libros, revistas y medios de difusión.<br/>Ha sido representante por la UNC en el comité de normas IRAM de Gestión de la Calidad en Educación y Evaluador del Organismo Argentino de Acreditación de Laboratorios.</p>  |   |
| <p><b>Daniela López De Luise</b> es Licenciada en Análisis de Sistemas por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (1989), luego continuó su formación en el sector de sistemas inteligentes obteniendo el título de Especialista en Ingeniería de Sistemas Expertos por el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (2000), homologando su título al de Ingeniera en Informática (Ced Esp 2004/H04041). En 2008 recibe el título de Doctora en Ciencias informáticas por la Universidad Nacional de La Plata. Finalmente adquiere el título de Comunicadora Pública de la Ciencia y la Tecnología otorgado en conjunto por la Facultad de Ciencias Exactas, de Sociología y de Filosofía y letras de la Universidad de Buenos Aires (2022).</p> <p>Su trayectoria profesional comienza en sistemas inteligentes, y se expande a otras temáticas relacionadas habiendo colaborado para grandes firmas nacionales e internacionales. Gradualmente incorpora las actividades científicas y académicas llegando a liderar el Computational Intelligence and Information Systems Labs (desde 2013) y el IDTI Lab de la Facultad de Ciencia y tecnología en la Universidad Autónoma de Entre Rios. Asimismo, participa como docente e investigadora en varias entidades educativas. Actualmente es la coordinadora académica del Centro de Estudios en Tecnologías Inteligentes de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires. Ha sido fundadora y steering committee de varias redes y laboratorios. Fundó, fue primer presidente y actualmente continúa perteneciendo al staff del IEEE Computational Intelligence Society de Argentina (primer capítulo mundial del IEEE en estas temáticas), fue presidente de IEEE Argentina, fundadora y socio gerente de Enterpriseware S.R.L., fundadora y lídea de IEEE Women in Computational Intelligenve, y pertenece activamente a la cátedra latinoamericana Matilda para las Mujeres en Ciencia. Tiene en su haber varios reconocimientos nacionales e internacionales, entre ellos el premio SADOSDY y el de Ingeniera Eminente Latinoamericana del IEEE R9.</p> <p>Actualmente coordina el IEEE Games Technical COmmittee en Argentina, y la Red de Desarrollo y Producción de Videojuegos (consorcio internacional latinoamericano). También preside algunas diplomaturas y coordina proyectos relacionados con el razonamiento lingüístico, chatterbots, y Wavelets Morfosintácticas. Realiza tareas de consultoría para varias empresas nacionales e internacionales. Su área de investigación base es la generación automática de lenguaje y su relación matemática con el habla natural.</p> |  |

**Fernando Furundarena** es Ingeniero Industrial con diploma de Mejor Promedio Académico Anual por la Universidad Nacional de Mar del Plata en 2013. Maestría en Administración de Negocios por la Universidad Austral (IAE Business School) en 2014. Más de 8 años de experiencia en empresas multinacionales (PepsiCo y Telefónica) en posiciones de Ingeniería, Estrategia y Finanzas. Premio 1er puesto Joven Empresario por la Unión del Comercio, Industria y Producción de Mar del Plata (UCIP). Mención premios Sadosky por la Cámara de la Industria Argentina del Software (CESSI). Becas Programa NAVES y MBA por la Universidad Austral. Ha enfocado su participación en investigación dentro de las temáticas de sistemas inteligentes y su interacción con el arte, con interés en blockchain.



**Antonio Anselmo Martino** Nacido el 29 de agosto de 1937. Se gradúa de abogado en la Facultad de Derecho de la Universidad de Buenos Aires, 1962, de Doctor en Derecho y Ciencias Sociales en la misma universidad, 1974. En 1971 gana el concurso de Profesor Adjunto ordinario en la misma facultad de Introducción al Derecho. En 1969 es nombrado profesor titular de filosofía del derecho en la Universidad de Belgrano. Desde 1975 miembro de la Sociedad Científica Argentina. En 1976, gana la cátedra de Ciencia política en la Facultad de Ciencias políticas de la Universidad de Pisa, Italia, en 1978 es nombrado *Maitre de Conferences* en filosofía del derecho en la Universidad de Rouen, Francia. En 1982 es nombrado Director del Instituto para la Documentación Jurídica del Consejo Nacional de Investigaciones de Italia, con sede en Florencia. 1982, Profesor del Curso de Estado Mayor de la Escuela Superior de Guerra Naval de Livorno. 1985, Profesor de Ciencias Políticas del Curso de Estado Mayor de las tres fuerzas armadas italianas 1986 es nombrado representante italiano en la Sede de Ediforum de la Comunidad Económica Europea, con sede en Bruselas, Bélgica, 1986, Miembro de la Comisión de la Informática del Consejo Nacional de las Investigaciones en Italia, 1987, Presidente del FIRILITE (Federation of International Research Institutes on Law and Information Technology in Europe), 1991 es nombrado Académico correspondiente de Academia Nacional de Derecho y Ciencias Sociales de Córdoba. 1992, .Miembro ordinario del ISLE (Institute for Legislative Studies and Documentation) Miembro del AIIA (Associazione Italiana di Intelligenza Artificiale), 1994, .Miembro asociado del Center for Artificial Intelligence and Cognate learning of the University of Greenwich, 1994, .Asesor Científico de la Obra de la Convención Nacional Constituyente 1994, Recopilación de la documentación de la última reforma constitucional, La Ley, Buenos Aires I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII tomo, 1996-1998.1995, Miembro Honorario del Circolo di Giuristi telematici, Italia. 1995 Director del Master en “Ciencia de la Legislación” promovido por las Universidades de Pisa y del Salvador, en la facultad de Ciencias Jurídicas de la Universidad del Salvador en Buenos Aires, 1996 Presidente de la Comisión italiana EBES (European Board for EDI standards), 1997, Director académico de Escuela de altos estudios para el Mercosur. Montevideo, 2004. Miembro del Instituto de Derecho Constitucional de la Academia de Derecho y Ciencias Sociales de Buenos



|   |   |
|---|---|
| <p>Aires, 2005, Miembro del Instituto de Filosofía política y moral de la Academia Academia Nacional de Ciencias Morales y Políticas, 2006. Miembro Vocal del GESI, Grupo de Estudios de Sistemas Integrados 2007. Miembro del Capítulo Argentino de ISOC, Sección Argentina de Internet Society, 2008, Profesor emérito de la Universidad de Pisa, Italia. 2009, 55. Evaluador de la Agencia española Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP). 2010. Profesor emérito de la Universidad del Salvador, Argentina, 2010, presidente del Comité Académico de la VIII Conferencia Internacional de Derecho e Informática de La Habana, 2011. Secretario para Europa de la Red Académica de Protección de Datos Personales, Monterrey, México. 2012, Declarado por Ley 4286 Personalidad Destacada de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en el ámbito de las Ciencias Jurídicas, 2014, Miembro de la International Association Artificial Intelligence and Law. 2015, Miembro del Consejo Asesor del progetto Re.Cri.Re de la Unión Europea. 2017. Profesor del Master in istituzioni parlamentari “Mario Galizia” per consulenti d’assemblea, Università di Roma. Miembro del Consejo Científico de las Revistas: -Del derecho industrial, Buenos Aires; - Computer/Law Series, Amsterdam; - Artificial Intelligence and Law, Boston; - Law and Information Technology, Oxford; - Derecho de la alta tecnología, Buenos Aires; - Forum per la Tecnología dell’Informazione, Roma. - Legisprudence. International Journal of the study of legislation, London. Derecho del Ciberespacio, Madrid, Revista de Derecho de las Telecomunicaciones, Internet y Medios Audiovisuales, Ciencia de la Legislación (Buenos Aires) RLPDP – Revista Latinoamericana de Protección de Datos Personales. México. - Editor de la colección: Logica, Informatica, Diritto del CEDAM, Milán. Autor de 53 libros, y 762 artículos, ensayos y obras menores</p> |   |
| <p><b>Orlando Micolini</b> obtuvo el grado de Ingeniero Electricista Electrónico en 1982 en la FCEFYN – UNC, como así también la Especialidad en Comunicaciones Telefónica y Maestría en Comunicaciones de Datos en el 2004. Se doctoró en Informática en la Facultad de Informática de la UNLP en 2015. Actualmente es profesor Titular en el Departamento Computación en la FCEFYN – UNC Argentina (Cátedras: Arquitecturas Avanzadas de Computadoras, Sistemas de Computación y Programación Concurrente) y director del Laboratorio de Arquitectura de Computadoras. Se desempeñó, por 12 años, como director de la carrera de Ingeniería en Computación en la FCEFYN. Ha sido GEO de Compuar SRL , ISEI y SCS SRL empresas dedicadas al el diseño de software y hardware desde 1982 hasta 2008. Es autor de la Patente del Procesador de Petri (OM) 2014 y posee numerosos artículos científicos relacionados. Sus intereses de investigación incluyen métodos formales y de DL para el diseño asistido por ordenador de sistemas concurrentes y complejos basados en Redes de Petri, con especial énfasis en la síntesis y verificación sistemas reactivos asíncronos y concurrentes.</p>   |  |

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Carlos Barto</b> obtuvo el grado de Ingeniero Civil en 1976 en la FCEFyN – UNC, como así también la Especialidad en Enseñanza Superior en la Facultad de Informática de la UNLP en 2008. Fue Director del Centro de Cálculo de la Universidad Nacional de Córdoba, como así también profesor Titular y Director del Departamento Computación y Departamento de Ingeniería Estructural en la FCEFyN – UNC Argentina (Cátedras: Informática e Inteligencia Artificial) y director del Laboratorio de Sistemas. En la actualidad se desempeña como Profesor Emérito. Es autor de numerosos artículos científicos relacionados. Sus intereses de investigación incluyen Sistemas Inteligentes y Complejos, con especial énfasis en la enseñanza de estos.</p>   |    |
| <p><b>Julián Antonio Pucheta</b> recibió el grado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Córdoba, Argentina, el MS y Ph.D. títulos de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina, en 1999, 2002 y 2006, respectivamente. Actualmente es investigador docente en el Laboratorio de investigación en matemáticas aplicadas para control, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Sus intereses de actuación incluyen el modelado de procesos reales mediante métodos estocásticos y el control óptimo para procesos dinámicos, el pronóstico de series temporales y el aprendizaje automático. Entre 2009 y 2016 ha sido consultor de la OEA en el Proyecto SAOCOM de la CONAE. Ha dirigido trabajos de final de carrera de Grado en Ingeniería Electrónica, a nueve maestrandos en Ciencia de Datos y uno Telecomunicaciones, y han terminado su formación doctoral tres investigadores bajo su Dirección. Actualmente está dirigiendo a tres maestrandos en la disciplina del Control automático y dos doctorandos en Ingeniería.</p>  |    |
| <p><b>David L. la Red Martínez</b> se graduó de Experto en Estadística y Computación en la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Argentina. Posteriormente completó estudios de postgrado de Especialista en Docencia Universitaria en la misma universidad y de Magister en Informática y Computación en dicha universidad en convenio con la Universidad de Cantabria, España. Luego obtuvo el título de Doctor en Ingeniería de Sistemas y Computación por la Universidad de Málaga, España. Es Profesor Titular de la UNNE y de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Argentina, desempeñándose como docente e investigador. Es Director de la Maestría en Informática y Computación, de la Universidad Nacional de Pilar (UNP), Paraguay y de la Universidad Nacional del Este (UNE), Paraguay. Es Director del Doctorado en Informática de la UNNE en convenio con la UTN y la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Argentina. Está Categorizado I en el Programa de Incentivos a la Investigación de la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación, Argentina. Está Categorizado A en la Carrera de Docente Investigador de la UTN. Es Evaluador de la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU) para carreras de grado y de postgrado de Sistemas. Es Revisor para numerosos Congresos y Revistas</p> |  |

|  |  |
|--|--|
| <p>nacionales e internacionales. Es Miembro del Comité Académico de la Maestría en Sistemas y Redes de Telecomunicaciones de la UNNE, de la Maestría en Tecnologías de la Información de la UNNE en convenio con la UNaM y del Doctorado en Informática de la UNNE en convenio con la UNaM y la UTN. Es Miembro Titular de la Comisión de Postgrado de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (FaCENA) de la UNNE. Es autor de numerosas publicaciones en revistas y congresos nacionales e internacionales (especialmente Europa y Estados Unidos de América) y nacionales con referato e indexación en temas de sistemas operativos, gestión de recursos y procesos en sistemas distribuidos, minería de datos educacional y aplicada a la salud, imputación de datos, etc. Ha dictado numerosas conferencias y cursos de postgrado en el país y en el exterior. Ha dirigido y dirige proyectos de investigación y tesis de postgrado. Se ha desempeñado como Coordinador de Área, Director de Departamento, miembro del Consejo Directivo de la FaCENA y ha integrado numerosas comisiones evaluadoras de docentes y de proyectos de investigación en varias universidades. Durante más de veinte años ha dirigido el Centro de Cómputos del Gobierno de la Provincia de Corrientes.</p>   |  |
| <p><b>Mario J. A Solari</b> se graduó como Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Rosario y obtuvo el título de Doctor en Ingeniería en la Universidad Nacional del Sur. Fue incorporado como Miembro Titular de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires en 2010.</p> <p>Durante su carrera como investigador y como ingeniero, ha forjado una metodología para gestionar la integridad estructural y funcional de los activos físicos industriales, fundada en iniciativas basadas en el análisis de riesgo y en la evaluación de integridad estructural, así como en factores humanos y económicos. El marco conceptual desarrollado tiende al nuevo enfoque denominado socio-ingeniería que enfatiza la seguridad para las personas y ambiente.</p> <p>Se desempeñó como Jefe de la División Tecnología de la Soldadura en la CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica), como Director del Proyecto de Tecnología de la Soldadura SECYT-CNEA, como Jefe del Departamento de Materiales (Proyecto de la C.N. Atucha II) en la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas (ENACE S.A.) perteneciente a CNEA y KWU-Siemens. Fue Investigador Independiente del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas) con lugar de trabajo en el LEMIT CIC (La Plata). Fue miembro de la Comisión Asesora Multisectorial para la Ciencia y Tecnología de la Producción de la SECYT, miembro de la Comisión Asesora de Ingeniería y Tecnología y Coordinador de la CASAUF del CONICET. Fue miembro del Comité de Soldadura IAS y de Comités de Normalización IAS-IRAM. Fue Presidente de la Asociación Argentina de Soldadura. Ha dictado cursos y conferencias en Universidades y empresas de Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, El Salvador, Emiratos Árabes Unidos, México, Perú, Uruguay, Venezuela.</p> <p>Es miembro de ASME (American Society of Mechanical Engineers) y ASM Internacional. Fue distinguido por ASME como ASME Authorized Global Instructor y dicta en Latinoamérica diversos cursos certificados por ASME.</p> |  |

|  |  |
|--|--|
| <p>Es Profesor visitante de la Universidad Nacional de la Plata y de la Universidad Austral. Es autor de numerosas publicaciones científicas y técnicas entre las que se cuentan capítulos de dos libros publicados en USA. En el ámbito privado fue fundador y dirige a CTI Consultores de Tecnología e Ingeniería SRL, empresa de base tecnológica que ofrece soluciones tecnológicas a las clientes basadas en el dominio del “estado del arte” en tecnología, ingeniería y ciencia. Ha contribuido a la gestión de integridad en las industrias de Gas y Petróleo, Química, Nuclear, Hidroeléctrica, y Siderúrgica. Fue pionero en la implementación del proceso de Inspección Basada en Riesgo en las industrias del gas y petróleo de Argentina, Perú y Bolivia, así como difundió su conocimiento en toda Latinoamérica. Participa como consultor en temas de integridad en el Proyecto de la C.N.Atucha II, contratado por Na-Sa, y dirige la implementación de un sistema de gestión de integridad de activos físicos en la Central Hidroeléctrica Yacyretá, a través de la Universidad Nacional de Misiones.</p> |  |
|--|--|



ANCBA 2022