

**La tecnología en general, las digitales en particular.
Vida, milagros y familia de la “Ley de Moore”.¹**

Mariano Zukerfeld²

Resumen

Este artículo tiene dos objetivos. El primero, preliminar, consiste en proponer una definición de la noción de tecnología y en base a ella construir una sencilla tipología con el fin de distinguir tres conceptos que usualmente se confunden: tecnologías, tecnologías de la información y tecnologías digitales. El segundo objetivo refiere específicamente al devenir de los procesos productivos de las tecnologías digitales. Se trata de narrar, documentar empíricamente y analizar la llamada “Ley de Moore”, una raro caso de profecía autocumplida que ejerce una incidencia notable en el conjunto de las actividades económicas del capitalismo informacional.

Palabras clave: Tecnología – Tecnología Digital – Tic – Ley de Moore

¹ El presente artículo se basa parcialmente en elementos vertidos en la tesis *doctoral Capitalismo y Conocimiento: Materialismo Cognitivo, Propiedad Intelectual y Capitalismo Informacional*, materiales creados ad hoc para las clases de la asignatura Informática y Relaciones Sociales (UBA) y una ponencia de las XXII Jornadas Argentinas de Historia Económica.

² Mariano Zukerfeld es investigador de CONICET, Doctor en Ciencias Sociales (FLACSO), Magister en Ciencia Política y Sociología (FLACSO) y Licenciado en Sociología (UBA). Es Profesor adjunto en la cátedra Informática y Relaciones Sociales de la Facultad de Ciencias Sociales de la UBA y profesor regular en la Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad de la UNQ y de la Maestría en Propiedad Intelectual de FLACSO. Actualmente, coordina el Equipo de Estudios sobre Tecnología, Capitalismo y Sociedad (e-TCS) en el Centro Ciencia, Tecnología y Sociedad (CCTS). Contacto: marianozukerfeld@e-tcs.org

Abstract

This paper has two goals. On the one hand, to advance a definition of “Technology” and, based on it, to develop a simple typology aimed to distinguish three usually confused concepts: technology, information technologies and digital technologies. On the other hand, the paper attempts to describe, empirically document and analyze the so-called “Moore’s Law”, a weird case of self-fulfilled prophecy that exercise a powerful impact in the economic activities of informational capitalism

Keywords: Technology – Digital Technology – Moore’s Law

Introducción

En la presente etapa, el Capitalismo Informacional (Castells, 2006), el uso del término “Tecnología” en el diálogo académico (aunque también en el político y el mediático) es frecuentemente una fuente de malos entendidos. Las confusiones relevantes son al menos de dos clases. Por un lado, los interlocutores usan el concepto con acepciones sumamente heterogéneas, que cada quién da por válidas sin más. Por ejemplo, tecnología puede ser sinónimo de artefacto para unos, mientras para otros referiría a la ciencia llevada a la práctica. En particular, resulta especialmente dañina para una vocación que busca comprender científicamente las relaciones entre la tecnología y la sociedad la idea en boga que podría resumirse en la frase ‘tecnología es todo’. Está muy bien visto en ponencias y artículos señalar que “la tecnología no es sólo la cosa”. Se nos dice que “es también el conjunto de las prácticas, el entramado social que resignifica el objeto técnico”. Así, se van agregando prácticas, tradiciones, culturas, actores, en fin, más y más elementos de los que, cabe subrayar, no se predica que están *relacionados* con la tecnología (lo que sería perfectamente razonable), sino que *son la tecnología*. Como resultado de esa hiperobesidad programada, la noción de tecnología se pierde toda utilidad práctica, todo filo analítico, toda precisión empírica³. El enunciador recibe aplausos o citas, mientras sazona la idea de que la ‘tecnología es todo’ con palabras como “redes”, “contingencia” y, especialmente, críticas al hombre de la bolsa del “determinismo tecnológico” (al que se estaría derrotando al diluir el concepto de tecnología en el lodo de lo social). El trabajo de campo que esta concepción permite no puede remontarse más allá del precario género los estudios de caso violentados. Pero la esterilidad empírica en nada disminuye la sofisticación de la enunciación, ni las ventajas de esta perspectiva para amoblar tesis prefabricadas. Más aún, excita la mente febril de un público académico posmoderno que disfruta de las complejidades innecesarias y goza saboreando el humo vacuo de las pasiones impostadas.

Por otro lado, más allá de los usos dispares, la otra fuente de confusión usual es la de la sinécdoque. En efecto, se confunden la parte con el todo. Así, es muy común encontrar el término “tecnología” para referirse a las “tecnologías digitales”. En efecto, las secciones de “tecnología” de los diarios o noticieros no se ocupan de otra cosa que de aquellas que procesan, transmiten o almacenan información digital. Lo mismo ocurre, por ejemplo, en la

³ Naturalmente, este movimiento consistente en creer que un concepto se vuelve menos limitado mediante el recurso a incluir dentro de él toda clase de entes (y cuyo resultado es la esterilización de tal noción), no es privativo de la noción de tecnología. Por caso, con lo “social” ha ocurrido otro tanto, gracias a la intervención de las plumas, o de los teclados, de los académicos posmodernos. Ciertamente es que la mejor crítica de esta práctica también ha sido producida por un posmoderno ejemplar (Cfr. Latour, 2008).

abundante oferta de opiniones, recetas, cursos y consultorías sobre “tecnología educativa”. En ninguno de ellos se discuten los pisos, pizarrones, bancos, lapiceras, etc. Sino una módica fracción del mundo de las tecnologías, las digitales.

Una versión de esta confusión, atenuada pero endémica en el campo académico, reside en confundir a las tecnologías de la información (TI), o tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) con las tecnologías digitales. Sin embargo, las TI o TIC exceden largamente a las tecnologías digitales: incluyen a los telégrafos, teléfonos analógicos, cuadernos, libros, ábacos, etc.

Estas superposiciones, más allá de entorpecer diálogos, tienen otras consecuencias negativas. Por lo pronto, opacan a las tecnologías no son digitales. Les niegan jerarquía y aún entidad. Pero, además, impiden captar qué es lo específico de las tecnologías digitales, aquello que las distingue del continente de las tecnologías en general, y que incluso las recorta dentro de las de la información como un territorio con rasgos bien definidos.

Este artículo, así, se propone dos objetivos. En primer lugar, ofrecer una sencilla clasificación de las tecnologías, partiendo de una definición de tal concepto. Clasificación y definición que surgen desde una perspectiva *materialista cognitiva*⁴. Intentamos avanzar sobre este objetivo en la sección 2. Ahora bien, una vez demarcado el terreno de las tecnologías digitales se vuelve necesario estudiar qué rasgos, si es que los hay, las caracterizan. Esta vocación merece una justificación. Es usual, en los estudios sociales de la tecnología, encontrar que todas las tecnologías son tratadas del mismo modo. No habría ninguna especificidad propia de algunos tipos de tecnologías que mereciera ser destacado. Se asume que todo rasgo es contingente a una situación social particular: a los actores, las prácticas, las redes, etc. Naturalmente, esta concepción es solidaria de las que criticamos más arriba. Si las tecnologías específicas no tienen rasgos propios, materiales que sean razonablemente autónomos de otros factores, no tienen sentido definir qué es tecnología ni tipologizarla. Sería cada situación “social” única la que caracterice a una tecnología dada.

Pues bien, aquí mostraremos las limitaciones de esta concepción en lo relativo a las tecnologías digitales. En efecto, un conjunto de rasgos relativos a sus procesos productivos, conocidos como “ley de Moore”, ponen reparos a esa concepción de moda. Las tecnologías digitales presentan especificidades, que son completamente extrañas a otras clases de tecnologías, y que tienen consecuencias de orden económico y sociológico difíciles de sobreestimar.

La extensa sección 3 de este artículo se ocupa de describir estas especificidades y de narrar la curiosa historia de cómo ellas tomaron estado público.

Finalmente, la cuarta sección presenta las conclusiones de este trabajo.

⁴ El aspecto relevante del materialismo cognitivo que nos interesa aquí es el de partir de la distinción entre flujos y stocks de materia/energía, de un lado y de diversas clases de conocimientos, por otro. Para un desarrollo de esta perspectiva, ver Zukerfeld, 2010, Volumen I.

1. ¿Qué es una Tecnología?

Aquí presentamos una de las posibles formas de entender al término Tecnología. Claro, no es la única, ni la mejor, pero sí una factible y enraizada en un marco teórico. Llamamos *Tecnologías* a aquellos *conocimientos que se concretizan en la forma que asume un bien determinado con un propósito instrumental (y que, en general, funcionan como medios para producir otros bienes o servicios⁵)*, siguiendo parcialmente a Machlup, Mokyr, Chartand y otros autores⁶. Por ejemplo, las computadoras en las que se diseñan los automóviles, las cadenas de ensamblaje en las que se los produce, los automóviles mismos y aún las llaves que los encienden. Pese al grado de complejidad diverso de los saberes que portan, estas cuatro clases de bienes se utilizan como medios: para diseñar y producir vehículos, para trasladar personas o para encender a los automóviles.

Hay que distinguir a las tecnologías (que son puros conocimientos) de los bienes en los que se objetivan, que llamamos *artefactos* (y combinan la materia/energía con los conocimientos tecnológicos). A su vez, es importante aclarar que la definición de tecnologías como conocimientos objetivados dista de entender que esos conocimientos son *sólo funcionalidad o que la funcionalidad original se mantiene en el devenir del artefacto*. Como se acepta actualmente, los artefactos portan toda clase de valores y creencias e incluso, de normas (Heidegger [1953] (1994); Habermas, 1986, en parte Foucault, 2004 pero, especialmente, Feenberg, 1991, 2000). Pueden tanto regular conductas como ser resignificados por sus usuarios (Winner, 1987; Bijker, Hughes, & Pinch, 1987). El rechazo a la noción de eficiencia como único elemento para comprender la difusión y estabilización de las tecnologías está ampliamente extendido, incluso, en la economía (Vid. David, 1985). Los diversos enfoques de los autores señalados comparten el negar tanto la idea de que la tecnología es completamente neutral como la de que los conocimientos materializados en el acto de la creación del artefacto determinan inefablemente sus usos posteriores. Así, entendemos que las tecnologías sólo

⁵ En cambio, los conocimientos que se objetivan en la forma de un bien pero sólo tienen fines consumatorios, no son tecnologías, sino objetos lúdicos o como se les quiera llamar.

⁶ Por ejemplo:

Simply put, technology is knowledge, even if not all knowledge is technological (Mokyr, 2002:2)
The production of one type of knowledge –namely, technology– results in continuing changes in the conditions of production of many goods and services.(Machlup, 1962:9)

En el caso de Chartrand, se usa el término “tooled knowledge” en vez de tecnología, pero la idea es similar:

I will be dealing.. with the knowledge tooled into matter, knowledge embodied as physical functioning things (technology). (Chartrand, 2007:77)

pueden entenderse como *parte* de complejos entramados de conocimientos históricamente situados que en otros trabajos llamamos *configuraciones materiales cognitivas* (Zuckerfeld, 2010): nudos de diversas tecnologías, técnicas, ideologías, modalidades organizacionales, leyes, dioses, textos y otras formas de conocimiento.

Es importante aquí separar a las nociones de tecnología y técnica. Aunque en algunos casos se las usa como sinónimos, esta identificación puede devenir en toda clase de confusiones. Desde una perspectiva materialista, mantendremos que mientras la tecnología refiere a saberes instrumentales *objetivados* en artefactos, la de técnica alude a saberes instrumentales que se ejercen implícitamente, portados por sujetos humanos. Las tecnologías son conocimientos que están en las cosas; las técnicas, conocimientos que residen en la mente humana. Naturalmente, técnica y tecnología pueden estar relacionadas. Pero esos conocimientos tienen propiedades económicas (por ejemplo, su costo de reproducción) y regulaciones jurídicas (por ejemplo, su situación la propiedad intelectual) divergentes.

Ahora bien, es evidente que las tecnologías son muy diversas. En nuestra opinión, es útil distinguir, ante todo, entre dos clases de ellas. Tomemos los cuatro ejemplos que dimos más arriba. Evidentemente, el automóvil y la cadena de ensamblaje se parecen: son máquinas, ponen en movimientos materias y energías. Pero la llave y la computadora tienen un parecido igual de cercano, aunque menos evidente: ambas tienen por misión la de sostener a cierta forma de conocimiento codificado, de información. Diremos, consecuentemente, que hay dos clases de tecnologías: las de la materia/energía y las de la información.

Las tecnologías de la materia/energía son las que, valga la redundancia, trasladan, procesan, manipulan, almacenan o traducen flujos de materia y energía. Los ejemplos abundan y no es necesario ir hasta tecnologías complejas como la cadena de montaje o el automóvil. La mayor parte de los bienes que nos rodean son tecnologías de la materia/energía: la cafetera, la taza de café, la mesa en que las dejamos, el piso en el que ésta se apoya a su vez, las cañerías de agua que corren por debajo del piso, las bombas hidráulicas que impulsan al agua por las tuberías, etc.

Las tecnologías de la información, por su parte, almacenan, procesan, reproducen, transmiten, o convierten información. Aunque parezcan muy distintas, la llave y la computadora comparten el almacenar ciertos conocimientos codificados, ciertas clases, muy diferentes, de información⁷. La segunda, además, puede hacer otras cosas con ella, como procesarla o copiarla. Así, hay algunas tecnologías de la información que tienen una única función y otras que realizan varias. Estas tecnologías, víctimas usuales de un uso reduccionista, son en realidad muy diversas. Entre las que *almacenan* información, además de las mencionadas, tenemos al papel, al libro, a los discos –de vinilo o digitales- o a los pendrives. La imprenta de Gutenberg o uno de los viejos grabadores de doble casetera *reproducen* información; el telégrafo o las cables de fibra óptica la *transmiten*. Los llamados sensores, como los termómetros y otros instrumentos de

⁷ Nótese que las tecnologías de la información, justamente, no son información, sino ciertos conocimientos objetivados en los que ésta se apoya.

medida, *convierten* la materia/energía en información. Inversamente, los brazos mecánicos de un robot industrial, llamados actuadores, *convierten* la información en materia/energía. Es sumamente relevante señalar que las tecnologías de la información no se limitan a operar con símbolos lingüísticos: las imágenes y los sonidos están bajo su órbita. Debemos a Walter Benjamin (1989), la primera observación de que estas tecnologías podían captar aspectos inconscientes de la actividad humana⁸.

Para comprender el funcionamiento de la presente etapa del capitalismo debemos avanzar un paso más, y separar entre las tecnologías de la información analógica (la imprenta de Gutenberg, un disco de vinilo) de las tecnologías de la información digital o, más simplemente, ***Tecnologías Digitales*** (una disco rígido externo, un teléfono móvil). La importancia de esta distinción es doble. Por un lado, radica en que las propiedades económicas de las tecnologías digitales difieren de las de toda otra tecnología, como veremos en la tercera sección. Pero, por otro lado, hay que notar que algunas tecnologías digitales tienen la particularidad de que *pueden integrar en los mismos artefactos todas las funciones de este tipo de tecnologías*. Las computadoras, y los aparatos que se les parecen, cada vez más almacenan, procesan, reproducen, transmiten y convierten información digital. Esta particularidad, completamente ajena a las tecnologías analógicas, está relacionada con el hecho de que la información digital funciona como una suerte de *equivalente general*.

Pero, aun siendo la más relevante, la distinción entre tecnologías de la materia/energía y de la información no es suficiente. Cualquiera que vea la variedad que presentan los ejemplos precedentes tendería a interponer una división previa a la que hemos ofrecido aquí, una división que aleja a la llave de la computadora, y a la taza de café de la bomba hidráulica, es decir que separa a las tecnologías en base a otra variable. Intuitivamente, se ve que hay algunas de estas tecnologías que son muy sencillas y están compuestas de una

⁸ La cita dice así:

Así es como resulta perceptible que la naturaleza que habla a la cámara no es la misma que la que habla al ojo. Es sobre todo distinta porque en lugar de un espacio que trama el hombre con su consciencia presenta otro tramado inconscientemente. Es corriente que pueda alguien darse cuenta, aunque no sea más que a grandes rasgos, de la manera de andar de las gentes, pero desde luego que nada sabe de su actitud en esa fracción de segundo en que comienzan a alargar el paso. Nos resulta más o menos familiar el gesto que hacemos al coger el encendedor o la cuchara, pero apenas si sabemos algo de lo que ocurre entre la mano y el metal, cuanto menos de sus oscilaciones según los diversos estados de ánimo en que nos encontremos. Y aquí es donde interviene la cámara con sus medios auxiliares, sus subidas y sus bajadas, sus cortes y su capacidad aislativa, sus dilataciones y arrezagamientos de un decurso, sus ampliaciones y disminuciones. Por su virtud experimentamos el inconsciente óptico igual que por medio del psicoanálisis nos enteramos del inconsciente pulsional. (Benjamin, 1989:14)

pieza única. Otras, mientras tanto, reúnen miles de pequeñas unidades y las combinan de formas sofisticadas. Históricamente, esta distinción se ha ido circunscribiendo y ramificando alrededor de los conceptos de *herramientas* y *máquinas*. Como definir la frontera entre ambas, particularmente, es todavía un tema de debate. Aquí sólo necesitamos precisar los términos de modo práctico, y no resolver las disputas prolongadas. Baste decir que nuestra definición parte de criticar y recuperar las distinciones entre máquinas y herramientas de Marx (1996 [1873] Tomo I Capítulo XIII) y Mumford (1992, Capítulo 1). Pero, sobre todo, de combinarlas con la separación entre materia/energía y conocimientos que caracteriza a nuestro marco teórico.

Nuestra propuesta es muy simple: hay que distinguir tres clases de artefactos:

- i) Las materias primas: Son formas de materia/energía que se transformarán enteramente en el proceso productivo que las aguarda. El papel que se ha producido para luego ser impreso y las varillas de hierro que irán a rodearse de cemento en la construcción son dos ejemplos.
- ii) Las herramientas: Son medios de trabajo que sobreviven a un proceso productivo determinado y que se caracterizan por ser movilizadas por energías biológicas (humanas o animales). Por supuesto, las herramientas varían en su nivel de complejidad. Algunas (como la llave) consisten en un único objeto y las llamamos herramientas simples: cuentan con un solo objeto que intermedia entre la fuente que imprime energía y direccionalidad y el objeto de trabajo. Otras (como un piano) combinan cientos de partes. Son herramientas complejas: tienen varias herramientas simples que se interponen entre la fuente energética y el objeto de su acción.
- iii) Las máquinas: Son herramientas simples o complejas impulsadas una fuente energética no biológica⁹. Que sea el agua, el viento, el carbón, el petróleo o la electricidad, es una cuestión secundaria. También lo es el grado de complejidad de la máquina. El asunto es que las falibles fuerzas biológicas dejan lugar a otras más sistemáticas y poderosas. El molino y la computadora, el reloj de sol y la cadena de montaje son para nosotros máquinas¹⁰.

⁹ Con más precisión, se trata de artefactos en los que las energías biológicas ocupan un porcentaje ínfimo –no necesariamente nulo– del total de energías utilizadas.

¹⁰ ¿Cuáles son las ventajas prácticas de estas definiciones? Explicarlas requeriría de un espacio que no tenemos aquí. De cualquier forma, podemos introducir un comentario. Esta distinción nos permite captar no sólo la relación de cada tipo de artefacto con la fuente de energía, que mencionamos explícitamente, sino el rol de los conocimientos. En el caso de las materias primas, tenemos artefactos que *reciben* materia/energía y conocimientos. En el de las herramientas, son artefactos que los *transmiten*, con mayor o menor modificación, al objeto de trabajo. El punto clave es que en las herramientas la fuente de energía y la de conocimientos suele ser la misma. El martillo recibe su control último y su impulso de la misma fuente humana. Incluso estas funciones pueden estar relativamente diferenciadas, como en una bicicleta: los pies proveen la energía y las manos los conocimientos, en la forma de dirección. Marx dice que una vez que se ha producido esta separación, el origen de la energía es un asunto menor. Los motociclistas no parecen pensar lo mismo y nosotros tampoco. En cambio, lo novedoso de la máquina es que permite separar radicalmente la fuente de conocimientos de la energética. El que maneja el automóvil sólo aporta conocimientos - si se descuenta el marginal esfuerzo físico de pisar el acelerador y girar el volante-. La fuente de energía en la máquina es sólo eso, una fuerza sin mente. Refleja un paso en el camino de la expansión de la materia/energía inverso y equivalente al que representa la escritura: un saber sin energía. Así, aún cuando las máquinas puedan ser alimentadas por energías biológicas en algunas ocasiones, estas deben ser energías bobas, sin reflexión.

Por fin, combinamos los dos tipos de Tecnologías que presentamos más arriba con las Materias primas, Herramientas y Máquinas en el cuadro nro.1. Esto es importante porque, por lo general, los autores que discuten sobre las herramientas y las máquinas lo hacen pensando sólo en las tecnologías de la materia/energía. Sin embargo, es fácil encontrar ejemplos de los diversos artefactos que portan tecnologías de la información.

Tabla nro. 1

Las Tecnologías y los Artefactos

| | | Artefactos | | | |
|---------------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|--|---|
| | | Materias primas | Herramientas | | Máquinas |
| | | | simples | complejas | |
| Conocimientos | Tecnologías de la materia/ Energía | Varilla de Hierro | Pala, Vaso | Rueca | Molino, Máquina de Vapor, Cadena de montaje |
| | Tecnologías de la información | Papel | Ábaco Libro Termómetro | Imprenta mecánica, Telégrafo óptico | Reloj de sol Telégrafo Tecnologías digitales |

Fuente: Elaboración propia.

Entre otras reflexiones que pueden hacerse mirando el gráfico, una evidente es la que anunciamos en la introducción de este trabajo: las tecnologías de la información son un grupo infinitamente más amplio (y más extendido en el tiempo) que las tecnologías digitales.

Confundirlas, como suele hacerse en los discursos académicos y mediáticos, podría no ser la mejor estrategia.

Hay que señalar que, si bien el uso de concepto como TI o TIC ha disminuido considerablemente en la última década, en favor de nombrarlas específicamente como Tecnologías Digitales, todavía esas nociones siguen muy en boga. ¿Por qué sucede esto si la imprecisión es evidente?

Aquí no podemos dar una respuesta concluyente a esta cuestión, pero hay dos factores que, de modo hipotético, son dignos de mencionarse. En primer lugar, TIC y TI son algo que podríamos nombrar como *conceptos subsidiados*. Las convocatorias para proyectos de investigación, especialmente aquellas financiadas de modo más generoso, así como las invitaciones a producir artículos para revistas y libros, suelen estar enmarcadas por determinados conceptos, por formas de plantear los problemas. Los términos TIC (particularmente) o TI han recibido un gran apoyo (inconciente, no necesariamente voluntario) por parte de estos financiamientos. Al ser los más difundidos en un primer momento, han sido aquellos de los que han echado mano los organismos internacionales y, tras ellos, los académicos más interesados en obtener recursos críticos que en hacer de la crítica su principal recurso. Por otro lado, una vez que se ha iniciado una carrera en torno de un concepto, la inercia y el vínculo emocional tornan muy difícil que se produzca un cambio en la denominación del objeto de estudio. Se produce lo que en economía de la innovación se conoce como *dependencia de sendero*: elecciones no necesariamente óptimas realizadas en un primer momento condicionan el trayecto ulterior. Así, más pronto que tarde, los seminarios que se han dictado, los trabajos que se han escrito, la bibliografía que se cita ejercen una fuerza mucho más poderosa que la que cualquier argumento pueda ofrecer.

2. Profecías autocumplidas y Chips.

No hay mayores discusiones respecto de la importancia que en la actual etapa del capitalismo, el capitalismo informacional, asumen las Tecnologías Digitales. Esa relevancia, en última instancia, depende de un conjunto de tendencias en los procesos de innovación en el terreno de los semiconductores. Tendencias que, llamativamente, parecen haberse mantenido desde 1965 a la fecha. Suele aludirse a esos comportamientos de las fuerzas productivas como “Ley de Moore”. Se cree, en efecto, que Gordon Moore señaló que la velocidad de procesamiento de los chips se duplicaría cada 18 meses manteniéndose su precio constante, y que esto es lo que ha venido ocurriendo en las últimas décadas. Sin embargo, ambas ideas son erradas o, mejor, imprecisas. Esta sección se encarga, en primer lugar, de narrar la historia de la evolución de los semiconductores, desde los años '60 a la actualidad. En segundo lugar,

analizamos cuáles fueron, efectivamente, los pronósticos de Moore. En tercer lugar, presentamos estadísticas respecto de la evolución histórica de: i) las cantidades de circuitos integrados por chip; ii) la capacidad de las memorias RAM iii) La capacidad de procesamiento de las CPU iv) Las MIPS¹¹ por dólar v) la capacidad de almacenamiento de información digital v) la capacidad de transmisión de esa información. A continuación, comparamos los datos con las profecías de Moore, discutimos su adecuación o falta de ella y, finalmente, concluimos con una serie de reflexiones sobre la relación entre el desarrollo del Capitalismo Informacional y las tendencias estudiadas en el sector de los semiconductores.

3.1 La “Ley de Moore”

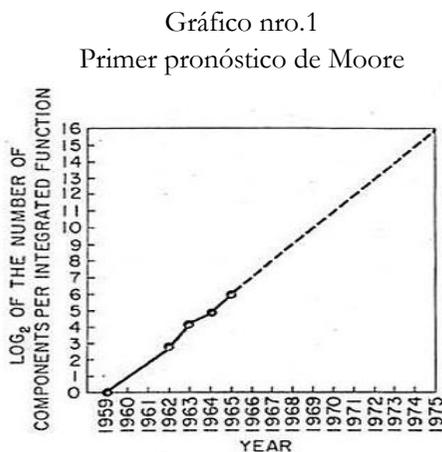
Las profecías, especialmente las que son sencillas y suenan bien, saben conducir a sus autores, durante el período en que se ubican en un futuro plausible, a la fama. Luego, cuando el futuro se vuelve presente y se niega a doblegarse ante ellas, los pronósticos otrora celebrados y los nombres a ellos asociados desembocan en el vertedero del olvido, o aún del descrédito. Este ha sido y es el destino inefable de las predicciones ramplonas y no es por otra razón que los profetas son mal vistos en el mundo de la ciencia. Especialmente en nuestra época, una que abraza con el fervor de los nuevos conversos la idea de que el azar gobierna el devenir; en una era que, en algunos estratos sofisticados, se pavonea hablando de la teoría del caos, los cisnes negros y las discontinuidades en la evolución y que, en otros, sencillamente desprecia el largo plazo entregada a los brazos de un Dionisos consumista; en esta etapa del capitalismo, evidentemente, las perspectivas tecnológicas a largo plazo no resultan bienvenidas en los círculos serios y apenas provocan alguna mueca cínica.

En ese contexto es que vamos a discutir uno o, mejor, un conjunto de ejercicios de futurología que han sido, contra toda predicción de los enemigos de las predicciones, violentamente acertados. Justo es decir que han sido los únicos ejemplares de su especie. Naturalmente, veremos que para explicar la magnitud de los aciertos, los razonamientos que condujeron a tales pronósticos son perfectamente insuficientes.

Gordon Moore fue uno de los ocho jóvenes discípulos de Shylock –uno de los inventores del transistor- que fundaron la Fairchild Semiconductor Corporation (que era una división de Fairchild Camera and Instrument Corp). Su trabajo, participando en el desarrollo de los circuitos integrados de fines de los '50 y principios de los '60 condujo a los editores de la revista *Electronics* a invitarlo para su número aniversario a despacharse sobre cómo sería la

¹¹ Millones de instrucciones por segundo que procesa una tecnología digital

próxima década (1965-75) para sector. En un artículo de apenas cuatro páginas y basado en sólo cinco observaciones discontinuas, Moore realizó un pronóstico osado: auguraba que la cantidad de transistores que podrían abarrotarse en un circuito integrado *aumentaría de manera exponencial, avanzando una potencia de 2 cada año* (estimando en 65.000 los transistores que habría en los circuitos de 1975). El gráfico logarítmico que condensaba el razonamiento era el siguiente:



Fuente: Moore, 1965: 116

Por supuesto, Moore no utilizaba el término "Ley de Moore", ni nada por el estilo. Apenas se limitaba a vaticinar, con mucha precisión matemática, el ritmo de progreso que tendría la capacidad para colocar transistores en un único circuito integrado, a un precio razonable en términos económicos. Pese a que la velocidad de procesamiento del circuito o chip está relacionada con la cantidad de transistores, nótese que Moore no se ocupaba específicamente de este tema. Además, desde el comienzo se trató de un anuncio que no era puramente ingenieril o científico, sino que consideraba al *precio* como uno de los elementos decisivos. En fin, Moore anunciaba que:

Over the longer term, the rate of increase is a bit more uncertain, although there is no reason to believe it will not remain nearly constant for at least 10 years. That means by 1975, the number of components per integrated circuit for minimum cost will be 65,000. (Moore, 1965:115)

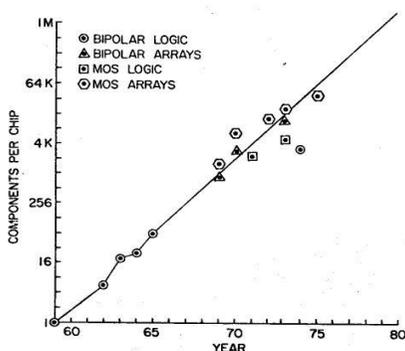
Mientras transcurrían los primeros años de testeo de los pronósticos de Moore, la industria dio un nuevo salto cuando, en los años 70-71 se logró una integración mucho mayor con la

invención del *microprocesador* (actualmente usamos el término chip para referirnos a esta tecnología). El microprocesador tiene la potencialidad de condensar todas las funciones la CPU –la parte “pensante” de una computadora. El primer chip de este tipo en salir al mercado fue el 4004 de Intel, una empresa recientemente creada a la que Gordon Moore había pasado como uno de sus socios fundadores.

Pero ¿qué pasó en 1975? Moore presentó un nuevo paper en el que sugería que la evolución de los circuitos integrados había seguido el derrotero prefijado. En ese año 1975, se señalaba, estaba en proceso de producción un circuito que integraba cerca de los 65.000 componentes que él había pronosticado una década antes. El gráfico principal de su nuevo paper era el siguiente:

Gráfico nro.2

El primer pronóstico de Moore, juzgado una década después por su autor.



Fuente: Moore, 1975:111

Sin embargo, hay que separar la paja del trigo en el análisis de Moore. El primer punto es que el gráfico no era del todo adecuado. En él se sumaban distintos tipos de tecnologías para arañar la cifra de 65.000 transistores. Si, en cambio, sólo se hubieran considerado los microprocesadores, se vería que ellos apenas estaban cerca de los 5.000 componentes. Aun aceptando la combinación de memorias y microprocesadores, apreciar el acierto de Moore requería de cierta buena voluntad de parte del público, dado que consideraba a tecnologías que estaban lejos de los procesos masivos de producción. Como señala el economista Dan Hutcheson:

In 1975, Moore wrote an update that revised his predictions, as noted earlier. While technically, his prediction of 65,000 components had come true, it was

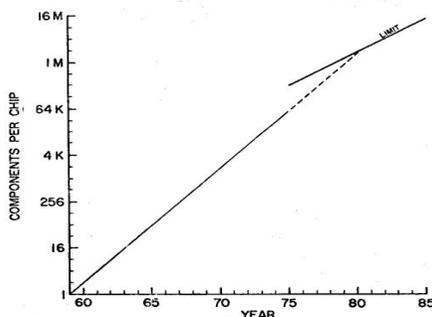
based on a 16-Kbit charge coupled device (CCD) memory, a technology well out of the mainstream. The largest memory in general use at the time, the 16K-bit DRAM, which contained less than half this number of transistors, was not in production until 1976. (Hutcheson, 2005:18).

¿Entonces Moore estaba equivocado? No tanto, y este es el segundo punto. Moore no acertó en la pendiente de la línea logarítmica, pero sí en el hecho mucho más trascendente de que el *progreso en el mundo de los chips sería exponencial*. En lugar de una duplicación de la cantidad de chips cada año, entre 1965 y 1975 tal crecimiento se produjo, estrictamente, cada 17 meses (Hutcheson, 2005:18). No obstante, ese progreso seguía siendo monstruoso, mayor al de cualquier tecnología conocida. Observando esto, Moore redondeaba su nueva ponencia actualizando su predicción. Con más cautela, previendo un aumento gradual del tiempo necesario para la duplicación de la cantidad de transistores –que ya había pasado de 12 a 17 meses–, nuestro todavía joven ingeniero estimó que para los próximos años esa cantidad sería de alrededor de dos años.

The new slope might approximate a doubling every two years, rather than every year, by the end of the decade. Even at this reduced slope, integrated structures containing several million components can be expected within ten years. These new devices will continue to reduce the cost of electronic functions and extend the utility of digital electronics more broadly throughout society (Moore, 1975:3)

La corrección de la pendiente y el sostenimiento de su carácter exponencial se observa en el gráfico con el que Moore cerraba su presentación.

Gráfico nro.3
Segundo pronóstico de Moore



Fuente: Moore, 1975:113

Ahora sí, a partir de aquí es que empieza a hablarse de una Ley de Moore (no está claro quién acuñó la expresión), que no sólo sigue siendo acertada en relación al carácter exponencial del progreso, sino que se vuelve precisa en relación a la pendiente de la curva. Como veremos, en los 40 años que transcurrieron desde esta segunda formulación, todas las medidas se han inclinado para brindarle reverencia. Más aún, la predicción de Moore, hecha para la cantidad de transistores, resiste razonablemente bien su extrapolación a la velocidad de los procesadores, el poder de las memorias RAM, la capacidad de almacenamiento de los discos rígidos, la velocidad de transmisión de los cables de fibra óptica, etc. Todas las tecnologías digitales, parece, incrementan su capacidad –a un precio de mercado más o menos constante- cada dos años. En 1995, el mismo Gordon Moore se reía de la extensión impensada que había alcanzado su profecía.

The definition of “Moore’s law” has come to refer to almost anything related to the semiconductor industry that when plotted on semi-log paper approximates a straight line. (Moore, citado en Hutcheson, 2005:17)

Dos cuestiones hay que discutir, entonces. De un lado, alguna evidencia empírica que apoye la verborragia con que hemos anunciado la adecuación entre la Ley de Moore y los hechos. Para ello seguimos la distinción entre las diversas formas de tecnologías de la información que presentamos más arriba: Procesamiento, Almacenamiento, Transmisión y Sensores. De otro lado, hay que debatir sobre la significación de tal adecuación: ¿cuál es la explicación del acierto de la Ley de Moore? ¿Qué consecuencias tiene?

2.2 Algunos datos

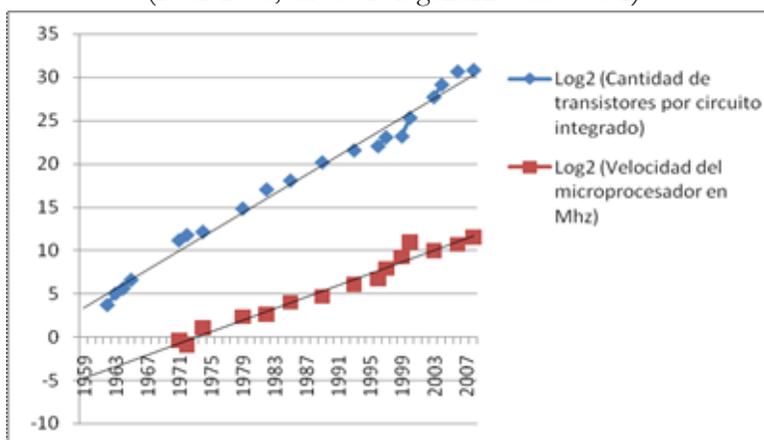
3.2.1 Procesamiento

Sabemos que Sherlock Holmes jamás dijo “Elemental, Dr. Watson” y que Alejandro Dolina nunca espetó “Todo lo que uno hace es para levantarse minas”. Sin embargo, podrían haberlo dicho sin traicionarse demasiado. La formulación de una idea que gana fama suele ser ajena al autor al que se le atribuye, pero tampoco le es completamente extraña: conserva cierto espíritu que sí le corresponde al titular del onomástico. Algo similar es lo que ocurre con nuestro objeto de estudio: la versión difundida de la Ley de Moore habla de que “la potencia de los microprocesadores se duplica cada 18 meses” (p.ej. Castells, 2006:66; Rifkin, 2001 y,

desafortunadamente, Zukerfeld, 2007, entre otros). Esto no es lo que Moore señaló, sino que es un promedio de las dos predicciones que Moore efectivamente hizo. Las tres formulaciones, claro está, no son contradictorias; las hermanas el hecho de predecir un incremento sostenido y exponencial en el tiempo en la potencia de los chips –de la cantidad de transistores que poseen, o de la velocidad de procesamiento-. Veamos algo de esto en relación a las –también tres- variables que se asocian a la potencia de procesamientos de los circuitos integrados: la cantidad de transistores, la velocidad del procesador y la capacidad de las memorias RAM (Castells, 2006:66).

Para la primera cantidad, si examinamos los datos del período 1959-2008, encontramos una confirmación de la hipótesis expresada por Moore en 1975– no así de la de los 18 meses. Puestos en la escala logarítmica de base 2, la *cantidad de transistores* incorporados a los procesadores ha sumado una potencia cada dos años, aproximadamente.

Gráfico nro. 4
Cantidad de transistores por microchip y velocidad de procesamiento de los microprocesadores
(1962-2008, en escala logarítmica de base 2)



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Moore, 1965, 1975; Intel http://www.intel.com/pressroom/kits/events/moores_law_40th/ y Wikipedia ("Microprocessor Technology")

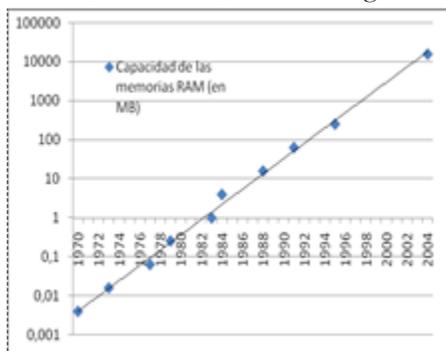
Aunque la *velocidad* de los microprocesadores –el dato que solemos relacionar con la ley de Moore- también se ha incrementado de manera exponencial –o lineal en la representación logarítmica-, lo ha hecho con un ritmo menor que el de la cantidad de transistores, como se ve en el gráfico.

The empirical observation that computing performance in like architecture machines scales approximately with the clock frequency of the chip is useful, insofar as it allows us to relate achievable performance to Moore's Law, with some qualifying caveats. Prof Carver Mead of VLSI fame observes that clock speeds scale with the ratio of geometry sizes, as compared to transistor counts which scale with the square of the ratio of geometry sizes. (Kopp, 2000:2)

Incluso, si se observa el detalle de la relación entre cantidades de transistores y velocidades de procesamiento, se aprecia que el vínculo es menos directo aún de lo que sugiere el gráfico con los logaritmos. De hecho, a comienzos del nuevo milenio, se alcanzó el límite en la velocidad que puede alcanzar un chip individual –por el calor que genera su actividad. A partir de entonces, los procesadores de las computadoras combinan dos o más chips (los conocidos dual o quad core de Intel, por ejemplo).

La evolución de las memorias RAM ha seguido una evolución más similar a la de la cantidad de transistores, siendo alcanzada cómodamente por la prospectiva de Moore.

Gráfico nro. 5
Capacidad de las memorias RAM
(EE.UU., 1971-2004, en escala logarítmica)



Fuente: Elaboración propia en base a Kopp, 2000 y Computer History Museum, 2006.

Un último y sintético dato resume las tres variables relativas al poder de los circuitos integrados y las vincula con los precios de mercado. Se trata de las millones de instrucciones procesadas por una computadora por segundo *por dólar*. Porque todo este progreso tecnológico sólo puede tener impacto en el sistema capitalista si los costos de los procesadores y memorias se mantienen relativamente constantes. En otras palabras, si los precios hubieran aumentado en una proporción cercana al poder de procesamiento, los avances en éste último

La Tecnología en general, las digitales en particular

no habrían tenido más que un impacto marginal, dada su imposibilidad de masificarse y la consecuente retracción de la inversión privada. Por el contrario, en un resumen que ofrece la firma Accenture vemos que esta variable se ha comportado de manera sumamente apegada a la Ley de Moore (datos más detallados, aunque coincidentes, pueden verse en Nordhaus, 2007).

Tabla nro. 2

Millones de instrucciones procesadas por segundo por dólar en 1970, 1990 y 2008

| Año | Tecnología digital | Millones de instrucciones por segundo (MIPS) por dólar | Log2 MIPS por dólar |
|-------------|---|---|----------------------------|
| 1970 | Transistores | 1 | 0 |
| 1990 | Circuitos integrados | 1.000 | 9,9657 |
| 2008 | Transistores de litografía de alta densidad | 1.000.000 | 19,9315 |

Fuente: Accenture, 2009.

En los 20 años que van de 1970 a 1990, la capacidad de procesamiento por dólar creció casi 10 potencias de 2, esto es, se fue duplicando cada dos años exactamente tal cual lo predicho. En los 18 años posteriores, el incremento fue, incluso, algo mayor, duplicándose cada 21 meses y medio, en promedio.

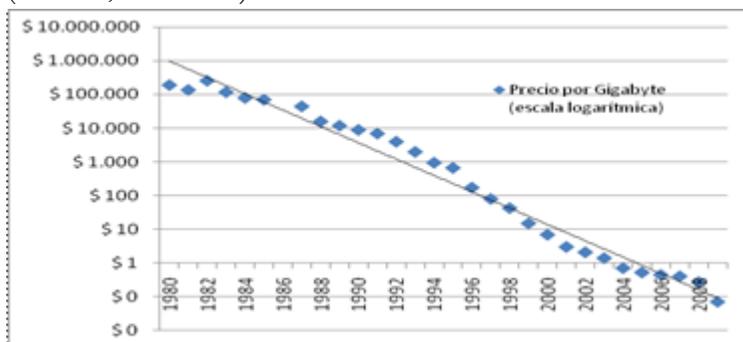
3.2.2 Almacenamiento

Es evidente que para entender la penetración de las tecnologías digitales en todos los rincones de la actividad económica y social no basta con constatar los desarrollos en la capacidad de procesamiento. Si las tecnologías de almacenamiento de esa información hubieran progresado con el ritmo que lo hicieron los aviones, los automóviles o cualquier otra tecnología no digital, los poderosos chips hubiesen tenido impactos modestos en la actual etapa del capitalismo. No obstante, las tecnologías de almacenamiento también han sufrido mejoras notables. Sería extenso un repaso exhaustivo, que nos llevaría a discutir sobre cintas magnéticas, diskettes, DAT's CD's, DVD's, Pendrives y muchos otros soportes. Observemos solamente lo que ha ocurrido con los Discos Rígidos, esto es, con los soportes magnéticos que anidan en las PCs y otras tecnologías dogotales. La medida más interesante, en nuestra

opinión es la del costo por unidad de almacenamiento. Ella no sólo da cuenta del progreso en las cantidades de bits que se pueden salvar, sino también del gasto que supone tal acopio.

Gráfico nro.6

Costo en dólares de 1 Gigabyte de almacenamiento
(EE.UU., 1980-2009)



Fuente: Extracto de Komorowski, 2009.

El gráfico es claro: el precio por unidad de almacenamiento ha caído con un ritmo muy cercano al de la ley de Moore y no hay indicios de que la capacidad de almacenamiento –en la que nuevas tecnologías se agregan permanentemente- vaya a encontrar un límite en el futuro cercano.

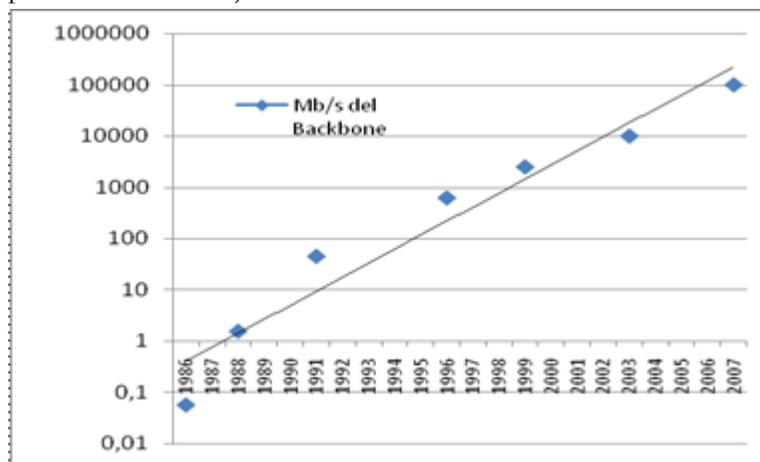
3.2.3 Transmisión

A su vez, la explosión de información digital, sus potencialidades no sólo económicas, sino también políticas, culturales, etc., deben mucho a la aparición de las redes de computadoras, a la difusión de los flujos a distancias siempre crecientes. Y los progresos de éstas, innegablemente, están en deuda con las tecnologías de transmisión de la información digital. La más importante de ellas es la de los cableados de fibra óptica. El punto es que la velocidad de transmisión a través de la fibra óptica también ha ido mejorando de manera notable desde el período en que Moore predecía el perfeccionamiento exponencial de los circuitos integrados. El indicador con el que contamos es el de los backbones de los EE.UU. Dicho mal y pronto, el backbone de una red de computadoras es el conjunto de las rutas principales que siguen los datos en ella. La velocidad de los backbones nos da una muestra de

la máxima velocidad alcanzada en la transmisión de datos en grandes distancias para un período determinado.

Gráfico nro. 7

Velocidad de transmisión de información digital entre redes de computadoras (EE.UU., en Megabytes por segundo máximos alcanzado por el "Backbone" más potente en cada año)



Fuente: Elaboración propia en base a Zakón, 2010. Se considera, en cada caso, la velocidad máxima del backbone más potente existente. Esto incluye a la NSFNET, a Internet y a Internet2.

Aunque el gráfico sugiere una desaceleración del avance desde el año '91, ello no debe inducir al error: en toda la serie la curva se mantiene creciendo a ritmos muy superiores a los de la ley de Moore –salvo en el período 1999-2003 en que la empata-. Incluso, el progreso en las velocidades de transmisión es mayor –y menos sujeto a límites cercanos-, que los de las tendencias descritas en los casos de las tecnologías de procesamiento y almacenamiento.

3.3 Reflexiones

¿Qué puede decirse de la llamada Ley de Moore y las perspectivas vecinas que buscan contagiarse de su aura? Algunas interesantes estimaciones las consideran como conservadoras (Kurzweil, 2001, por caso, la extiende a todas las tecnologías y la inscribe como una general de la humanidad); otras las evalúan como exageradas (Tuomi, 2002; 2003, muestra algunos

puntos flacos de los datos y los argumentos de Kurzweil). No obstante, las tendencias son claras. Puede discutirse si el crecimiento es exponencial o geométrico, *pero no hay dudas de que las tecnologías digitales han evolucionado durante más de cuarenta años a un ritmo que no registra antecedentes en la historia humana*. Nada parecido a la Ley de Moore ocurrió antes en la historia de la humanidad, ni nada similar vino a ocurrir después si se quitan del cuadro a las tecnologías digitales. Hay que separar este hecho relativo al comportamiento de las fuerzas productivas de otro hecho, de rasgos muy diversos: el del acierto considerable de las profecías de Moore que hemos constatado ¿Cuáles son las causas de tan curiosos aciertos? Por lo pronto hay que decir que no hay causas científicas –no sólo físicas, sino tampoco económicas– que permitieran predecir seriamente lo que ocurrió. En los breves trabajos de Moore no se hallan, ni por asomo, datos suficientes como para rescatar a sus pronósticos del terreno de las intuiciones relativamente adivinatorias. Entonces ¿Moore adivinó por casualidad? No, en modo alguno. La Ley de Moore es un caso notable de *profecía autocumplida*. Su mera formulación, junto con una serie de circunstancias, contribuyó a que la realidad se le amoldara. La clave en este sentido es que *la adecuación de la industria a este pronóstico redujo enormemente los costos de coordinación del mercado*. La Ley de Moore fijó una ruta que permitía a todos los agentes económicos –productores de insumos, de bienes finales, consumidores, los estados, etc.– ganar previsibilidad en mercados por lo demás inciertos. De acuerdo a Schaller:

Gordon E. Moore's simple observation more than three decades ago that circuit densities of semiconductors had and would continue to double on a regular basis has not only been validated, but has since been dubbed, "Moore's Law" and now carries with it enormous influence. It is increasingly referred to as a controlling variable -- some have referred to it as a "self-fulfilling prophecy." The historical regularity and predictability of "Moore's Law" produce organizing and coordinating effects throughout the semiconductor industry that not only set the pace of innovation, but define the rules and very nature of competition. And since semiconductors increasingly comprise a larger portion of electronics components and systems, either used directly by consumers or incorporated into end-use items purchased by consumers, the impact of "Moore's Law" has led users and consumers to come to expect a continuous stream of faster, better, and cheaper high-technology products. The policy implications of "Moore's Law" are significant as evidenced by its use as the baseline assumption in the industry's strategic "roadmap" for the next decade and a half. (Schaller, 1996:2)

En el mismo sentido se expresa un artículo más reciente de Hutcheson, que incluso cita a un Moore reflexivo capaz de relacionar su "ley" con la idea de "profecía autocumplida".

The real import of Moore's law was that it had proved a predictable business model. It gave confidence in the industry's future because it was predictable. One could plan to it and invest in it on the basis that the integration scale would always rise in a year or two, making the electronics that was out there obsolete and creating new demand because the unobtainable and confusing would become affordable and easy to use. This then fed back to reinforce it, as engineers planned to it and designed more featurerich products or products that were easier to use. As Moore later put it, Moore's law, "had become a self-fulfilling prophecy." (Hutcheson, 2005:18)

Pero, naturalmente, para que esto ocurriera, no bastaba con que cualquier persona hiciera cualquier pronóstico sobre la evolución futura de cualquier industria promisoría.

Primero, quién hacía la profecía debía ser alguien que contara con cierta prédica en el sector. Moore ya lo era en 1965, pero lo era mucho más una década más tarde, cuando ofreció su versión definitiva. Es interesante, aunque posiblemente estéril, imaginar que hubiera ocurrido si los mismos *papers* hubiesen sido escritos por algún ignoto ingeniero del tercer mundo. Segundo, es claro que la industria debía tener un cierto margen de maniobra para poder acomodarse a los tiempos que el sendero pautado por Moore sugería. Esto implica no sólo que las firmas de los semiconductores en muchos casos debieron apresurarse para llegar al paso sugerido por Moore, sino que, más frecuentemente, las innovaciones que superaban ese ritmo se postergaban para cuando fuera oportuno. Por supuesto, que las industrias del rubro de las tecnologías digitales tuvieran este margen de maniobra fue un fenómeno contingente que dependió de numerosos factores, complejos de enumerar satisfactoriamente (para una descripción sencilla ver Castells, 2006:Cap 1). Sin dudas varios de ellos tienen que ver con los otros flujos de conocimientos que caracterizan a la etapa. No obstante, un factor en particular es estrictamente tecnológico y debe ser nombrado aquí: *el carácter virtuoso y cíclico de la innovación en el sector*. Para hacer máquinas de vapor, no se usaban máquinas de vapor; para hacer chips, sí se usan chips. En efecto, los diseños de los semiconductores se hacen utilizando computadoras basadas en estos semiconductores, se manipulan con robots basados en chips, se realizan cálculos con tecnologías digitales, etc. Cada mejora en un chip acerca —aunque no sepamos cuánto— otra mejora futura. Por supuesto, todas las tecnologías tienen algún efecto virtuoso sobre sí mismas, aunque en otros casos el *loop* es más largo e indirecto. Las imprentas permitían imprimir libros en los cuáles se suministraban los planos de las imprentas; es posible que los científicos que diseñaron mejores teléfonos se comunicaran a través de ellos para

intercambiar opiniones; las piezas de las cadenas de montaje en algún momento comenzaron a producirse por parte de esas mismas cadenas, etc. Sin embargo, ese efecto virtuoso parece, en estos ejemplos, relativamente difuso si se lo compara con los que ocurre con los chips.

Con todo, el que las tecnologías digitales se allanen a la Ley de Moore sería un dato casi anecdótico si no fuera por otro hecho complementario: los conocimientos objetivados en las tecnologías digitales de procesamiento, almacenamiento, transmisión y conversión han tenido una enorme capacidad para *darse cita en los mismos artefactos*. En efecto, nadie usa sólo un microprocesador o un sensor. Las tecnologías digitales nos llegan de a racimos, en aparatos que las hacen funcionar en conjunto. Esto, que hoy nos parece evidente, es más bien la excepción que la norma en la historia de las tecnologías. Una integración en algún sentido comparable aconteció en la revolución industrial alrededor de la máquina de vapor. Sin embargo, ese nexo se verificó integrando menos tecnologías en menos artefactos menos masivos. Por el contrario, la convergencia de las tecnologías digitales es casi total, en parte porque tienen a la Información Digital como su equivalente general. Tomemos el ejemplo de las cámaras. No es tanto el hecho de que haya una enorme cantidad de ellas fiscalizando cuerpos y movimientos lo que intimida, sino el que esas cámaras produzcan información digital que puede almacenarse hasta el infinito, copiarse y transmitirse *urbi et orbi*, procesarse a través de los softwares de reconocimiento facial y así asociarse a nombres y apellidos para luego cruzarse con bases de datos relativas a consumos de tarjetas de crédito, historiales médicos o “amigos” de Facebook. La clave, para bien o para mal, está en la integración, y no en las tecnologías digitales aisladas.

La ocurrencia efectiva de los hechos descriptos por la Ley de Moore dialoga con el surgimiento y ascenso de un cuarto sector de la economía, el Sector Información (Zukerfeld, 2013). Un sector cuyo output principal son bienes hechos de información digital y cuyo principal medio de trabajo son los artefactos que combinan diversas tecnologías digitales. Así, el principal medio de producción del sector tiene precios bajos y declinantes. Precios que no resultan prohibitivos para muchos de quienes son empleados en ese sector. Así, *la propiedad física de los medios de trabajo en ese sector no es el elemento decisivo que determina la estratificación de los sujetos*. Los capitalistas no son capitalistas por ser dueños de PC's, ni los trabajadores lo son por carecer de ellas. Este hecho sencillo, que marca una separación notable respecto del sector industrial, tiene notables consecuencias. Algunas de ellas son relativas al modo de concebir la estratificación social (Zukerfeld, 2009; Yansen y Zukerfeld, 2013), otras comprometen el rol de la noción misma de propiedad (física) en el esquema de valores de la presente etapa del capitalismo (Zukerfeld, 2010).

Otra fenómeno asociado a la ley de Moore es su compatibilidad con la difuminación de la barrera que separaba tiempo de trabajo y tiempo de ocio, difuminación anunciada por los autonomistas italianos. Así, las tendencias en los precios de estos artefactos que portan tecnologías digitales permiten -aunque no causan- una tendencia notable: que se ubiquen tanto dentro como fuera de la jornada laboral, que los trabajadores combinen en ellos, tiempo de trabajo y de ocio, en algunos casos en términos sincrónicos, en otros de manera diacrónica que se configure, en fin, una *ambivalencia del medio de trabajo*. El diseñador gráfico explotado mediante la PC la usa para navegar en redes sociales. El periodista, para escribir ese libro que sueña con publicar. Aún los trabajadores de los *call centers* organizan su resistencia mediante páginas web, grupos de Facebook y similares. Evidentemente, se trata de un vínculo impensable entre un trabajador fordista y un torno. *El medio de trabajo surca la jornada laboral y la une con el tiempo de ocio*. En algunos casos, el trabajador combina actividades de ocio y trabajo permanentemente. Por ejemplo, los correctores o diseñadores gráficos que pasan largas horas frente a sus computadoras y tienen las páginas de sus casillas de mail, el diario y Facebook abiertas, a la vez que los programas con los que laboran, alternando entre unos y otros. En otros casos, los trabajadores informacionales con jornadas laborales más estables, se reencuentran en su tiempo de ocio con el mismo artefacto que utilizaron, para fines distintos, en el horario laboral.

3. A modo de cierre

En este trabajo, nos interesamos en caracterizar primero de modo analítico y luego empírico de los artefactos basados en tecnologías digitales.

Para llegar a caracterizar de modo teórico a las tecnologías digitales, hicimos el recorrido que va desde lo general hacia lo particular. Así, partimos de definir y tipologizar a la noción de Tecnología, entendiéndola como un tipo de *conocimientos*. Propusimos referirla, específicamente, a aquellos que se concretizan en *la forma que asume un bien determinado, con un propósito instrumental (que funciona normalmente como medio para producir otros bienes o servicios)*.

Esto implica desmarcar a la noción de tecnología de la de *técnica* que, si bien refiere también a conocimientos instrumentales, se concretiza en aquellos que están portados por la subjetividad individual (y no a los objetivados fuera de la misma)

Luego, distinguimos a las tecnologías en base a si procesan, transmiten, almacenan o transforman materia/energía, de un lado, o información, de otro.

Ahora, las tecnologías, esto es, esos conocimientos particulares, no se nos presentan más que objetivados en *artefactos*. Esos artefactos, que concentran en mayor o menor medida tecnologías de la materia/energía o tecnologías de la información, presentan grados de

complejidad y alimentación energética diversos. Es por ello que los clasificamos entre materias primas, herramientas (simples y complejas) y máquinas (definidas por su alimentación energética no biológica).

La última distinción relevante ocurre al interior de las máquinas que ante todo concentran tecnologías de la información: algunas de ellas son analógicas (como el teléfono o las videocaseteras); las restantes son digitales (computadoras, teléfonos móviles, etc). De modo que son estos artefactos los habitados por nuestro objeto, las tecnologías digitales.

Así, intentamos ofrecer precisiones para evitar confundir, entre otros, los conceptos de “tecnologías”, “tecnologías de la información” y “tecnologías digitales”: se trata de tres conjuntos de amplitud decreciente, cada uno subsumido en el o los anteriores.

Con esta caracterización de las tecnologías digitales es que realizamos un recorrido por algunas tendencias relativas a su evolución histórica que suelen conocerse con el nombre de Ley de Moore. Surcamos algunos datos respecto de la evolución histórica de: i) las cantidades de circuitos integrados por chip; ii) la capacidad de las memorias RAM iii) La capacidad de procesamiento de las CPU iv) Las MIPS por dólar v) la capacidad de almacenamiento de información digital v) la capacidad de transmisión de esa información.

Esos datos permiten concluir que, más allá de toda duda razonable, *las tecnologías digitales han evolucionado durante más de cuarenta años a un ritmo que no registra antecedentes en la historia humana y que, más aún, fue predicho: cada dos años se ha duplicado la capacidad de procesamiento, almacenamiento, etc. de los chips a un precio constante.*

¿A qué se deben este comportamiento curioso y el acierto de la predicción?

La segunda parte de la pregunta encuentra una parte relevante de la explicación en que la adecuación de la industria a este pronóstico redujo enormemente los costos de coordinación del mercado. La Ley de Moore fijó un recorrido previsible que ayudaba a todos los agentes económicos a ganar previsibilidad en mercados colmados de incertidumbre. Además, se trató de una *profecía autocumplida*, en la medida que quién la formulaba, Gordon Moore, era un actor relevante que incidiría en los hechos que pronosticaba.

En cuanto a la primera mitad de la pregunta, más allá de diversos factores económicos, hay que resaltar uno estrictamente tecnológico: *el carácter virtuoso y cíclico de la innovación en el sector.* Los chips más rápidos ayudan a aumentar la innovación en los procesos productivos de chips. En efecto, los diseños de los semiconductores se hacen utilizando computadoras basadas en estos semiconductores, se manipulan con robots basados en chips, se realizan cálculos con tecnologías digitales, etc. Cada mejora en un chip acerca –aunque no sepamos cuánto- otra mejora futura.

La Tecnología en general, las digitales en particular

Este comportamiento de los procesos productivos de las tecnologías digitales está asociado dialécticamente con el sinfín de transformaciones que dan origen y forma al Capitalismo Informacional. Sin embargo, y aunque es imposible enumerar esas transformaciones aquí, sí es relevante notar que esa incidencia socioeconómica de las tecnologías digitales es inseparable de su capacidad para convivir armónicamente en los mismos artefactos: chips, memorias, sensores (cámaras y micrófonos), etc, dialogan en base al lenguaje de la información digital.

Bibliografía

- Benjamin, W. (1989) La obra de arte en la época de su reproductibilidad técnica, en Discursos interrumpidos 1, Madrid: Taurus.
- Bijker, W., Hughes, Th., & Pinch, T. (eds) (1987) *The Social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology*, Cambridge: MIT.
- Braun, E., & Macdonald, S. (1982) *Revolution in Miniature: The History and Impact of Semiconductor Electronics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Castells, M. (2006)[1997] *La era de la información, tomo I, La Sociedad Red* México DF: Siglo XXI.
- Chartrand, H. H. (2007) *The Competitiveness of Nations in a Global Knowledge-Based Economy. Ideological Evolution*, VDM, La Vergne: Verlag Dr. Mülle
- David, P. (1985) “Clio and the Economics of QWERTY” *The American Economic Review*, Vol. 75, No. 2, Papers and Proceedings of the Ninety-Seventh Annual Meeting of the American Economic Association. (May, 1985), pp. 332-337
- Feenberg, A. (1991) *Critical Theory of Technology* (1991) Oxford University Press, Oxford.
- Feenberg, A. (2000) “From Essentialism to Constructivism: Philosophy of Technology at the Crossroads.” In *Technology and the Good Life?*, ed. Eric Higgs, Andrew Light, and David Strong. Chicago: University of Chicago Press.
- Foucault, M. (2004) [1975] *Vigilar y Castigar*, Buenos Aires: Siglo XXI.
- Habermas, Jürgen (1986) *Ciencia y Técnica como ideología*, Madrid: Tecnos
- Hall, P. & Preston, P. (1988), *The Carrier Wave: New Information Technology & the Geography of Innovation*, Union Hyman, Londres
- Heidegger M. [1953](1994) “La pregunta por la técnica” en Heidegger, M., *Conferencias y*

artículos, Barcelona: Ediciones del Serbal.

Hutcheson, D.(2005) "Moore's Law: The History and Economics of an Observation that Changed the World," *The Electrochemical Society Interface* Vol. 14, No. 1 (Spring 2005) pp. 17-21.

Image Sensor World (2006) New isuppli Market Data Disponible KOMOROWSKI, Matt (2009) "A History of Storage Cost", disponible en: <http://www.mkomo.com/cost-per-gigabyte>.

Kopp, C. (2000) "Moore's law - is the end upon us?" en *Systems*, July 2000, Auscom

Kurzweil, R. (1999) *La era de las máquinas espirituales*, Barcelona: Planeta.

Kurzweil, R. (2001). The Law of Accelerating Returns. Disponible en: <http://www.kurzweilai.net/articles/art0134.html>

Mac Manus, R. (2010) "2010 Trend: Sensors & Mobile Phones". Post del 17 de enero de 2010 en [ReadWriteWeb](http://www.readwriteweb.com/archives/2010_trend_sensors_mobile_phones.php). Disponible en: http://www.readwriteweb.com/archives/2010_trend_sensors_mobile_phones.php

Machlup, F. (1962) *The Production and Distribution of Knowledge in the United States*, Princeton, N.J: Princeton University Press

Marx, K. (1996 [1873] (1996) [1873] *El Capital*, México: siglo XXI.

Mokyr, J. (2008) "Intellectual Property Rights, the Industrial Revolution, and the Beginnings of Modern Economic growth" Prepared for the *Research Symposium on Property Rights Economics and Innovation* Searle Center on Law, Regulation, and Economic growth Northwestern University School of Law Nov. 13, 2008.

Moore, G. (1965) "Cramming More Components Onto Integrated Circuits," *Electronics* (Volume 38, Number 8), April 19, pp. 114-117.

Moore, G. (1975) "Progress in Digital Integrated Electronics" IEEE, IEDM Tech Digest pp.11-13.

Moore, G. (1995) "Lithography and the Future of Moore's Law." Paper presented to the Microlithography Symposium, February 20.

Moore, G. (1996) "Some Personal Perspectives on Research in the Semiconductor Industry," in Rosenbloom, Richard S., and William J. Spencer (Eds.). *Engines of Innovation*. Boston: Harvard Business School Press.

Mumford, L. (1992) *Técnica y Civilización*, Madrid: Alianza Editorial.

PMA (2010) *2010 PMA U.S. Camera/Camcorder Digital Imaging Survey*, Disponible en: <http://pmanewsline.com/2010/03/15/pma-data-watch-camera-phone-penetrationcontinues-to-rise/>

Schaller, R. (1996) "The origin, nature, and implications of Moore's law: The benchmark of progress in the semiconductor industry". Working Paper, School of Public Policy, George Mason University, (1996), <http://mason.gmu.edu/~rschalle/moorelaw.html>.

Shankland, S. (2007) "Cameras: Shipments rising, but prices falling" En CNET News, Disponible en: http://news.cnet.com/8301-13580_3-9781673-39.html?Part=rss&subj=news&tag=2547-1_3-0-5

Sherry, J. y Brown, C. (2004) "History of the Internet" en Bidgoli, Hossein (editor) (2003) *The Internet Encyclopedia*, Wiley, New York. Tomo II.

Tuomi, I. (2002) "The Lives and Death of Moore's Law", *First Monday*, volume 7, number 11 (November 2002)

Tuomi, I. (2003) "Kurzweil, Moore, and Accelerating Change", Working Paper del Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies Working paper 27 August 2003

Varian, H. y Shapiro, C. (2000) *El dominio de la Información*. Madrid: Antoni Bosch.

Winner, L. (1987) ¿Tienen política los artefactos? (Do Artifacts have Politics?). En Mackenzie, Donald, y Wajcman, Judy (eds.). *The Social Shaping of Technology*. Philadelphia: Open University Press. Versión castellana de Mario Francisco Villa en hipersociología.org.

Winston, B. (1998) *Media Technology and Society: A History: From The Telegraph to the Internet*, Londres: Routledge.

Yansen, G. y Zukerfeld, M. (2013) Acceso, recursos y clases en la historia del capitalismo. Una teoría de la estratificación social desde el materialismo cognitivo en *Hipertextos: Capitalismo, Técnica y Sociedad en debate*. Vol 1, nro 0. Pp. 77-111.

Zakon, R. (2010) Hobbes' Internet Timeline v10 disponible en <http://www.zakon.org/robert/internet/timeline/>

Zukerfeld, M. (2008) "Capitalismo Cognitivo, Trabajo Informacional y un poco de música" en *Revista Nómadas*. Revista del IESCO Instituto de Estudios Contemporáneos, Universidad Central de Colombia, Número 28. Pp 52-65. Bogotá Colombia

Zukerfeld, M. (2009) “Acceso, Conocimiento y Estratificación en el Capitalismo Cognitivo” en Revista Concurrencias y Controversias Latinoamericanas, Revista de la Asociación Latinoamericana de Sociología, número pp.127-153. Abril de 2009. México, D.F.

Zukerfeld, M. (2010) *Capitalismo y Conocimiento: Materialismo Cognitivo, Propiedad Intelectual y Capitalismo Informacional*, Vol. I, II y III. Disponible en e-TCS.org

Zukerfeld, M. (2013) *Obreros de los bits: Conocimiento, Trabajo y Tecnologías Digitales*, Colección Ciencia Tecnología y Sociedad, Bernal: Universidad de Quilmes.

