

**El Centro de Cálculo
(1968-1973): ciencia, arte
y creación computacional**
Aramis López y Jaime Munarriz



serie
investigación

 EDICIONES
COMPLUTENSE

**El Centro de Cálculo
1968-1973, cinco años de ciencia, arte y creación
computacional**

**El Centro de Cálculo
1968-1973, cinco años de ciencia, arte y
creación computacional
Aramis López y Jaime Munarriz**

PRIMERA EDICIÓN: NOVIEMBRE 2020

© 2020, De los textos: sus autores
© 2020, Ediciones Complutense
Pabellón de Gobierno
Isaac Peral s/n
28015 Madrid
913 941127
info.ediciones@ucm.es
<http://www.ucm.es/ediciones-complutense>

ISBN: 978-84-669-3698-9
Depósito Legal: M-7660-2020

Diseño de cubiertas de la colección
Ken

Impresión
Ulzama Digital
Pol. Ind. Areta, Calle Altzutzate, 51,
31620 Huarte (Navarra)

Investigación patrocinada por Galería José de la Mano

Ediciones Complutense garantiza un riguroso proceso de selección y evaluación de los trabajos que publica.

Reservados todos los derechos. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, por cualquier medio o procedimiento, sin contar para ello con la autorización previa, expresa y por escrito del editor.

Printed in Spain



Nuestros agradecimientos a:

José Luis Alexanco, Manuel Álvarez Junco, Florentino Briones, Ana Buenaventura, Violeta Demonte, Jacinto de Castro, Ana Isabel Fernández, Mario Fernández Barberá († 2017) Ernesto García Camarero, Luis García (Lugan), Luis García Alonso, Tomás García Asensio, Pablo Gervás, Ignacio Gómez de Liaño, Luis Hernández Yañez, Julia Irigoyen, Iñigo Larrauri, Ángela Lozano, Javier Maderuelo, José de la Mano, Alberto Manrique, Joaquín Martín Moreno, Carlos Piera, María Nagore, Julia Nicolás, Miguel Ángel Pérez Ribera, Eduardo Polonio, José Miguel de Prada Poole, Diego Quesada, Guillermo Quiros, Isidro Ramos, Guillermo Searle, Javier Seguí de la Riva, Ángela Yebra, José María Yturralde

Y al patrocinio de la Galería José de la Mano, y su apuesta continuada por las obras que surgieron de los proyectos y participantes del Centro de Cálculo



Exposición Lugán y la Bienal de Sao Paulo de 1973 en la Galería, septiembre-noviembre 2015

JOSE DE LA 

Índice

13-15	1. ¿QUÉ SUCEDIÓ EN EL CENTRO DE CÁLCULO? LOS SEMINARIOS, LA COMPUTACIÓN, CIENCIAS, EL ARTE COMPUTACIONAL Y LA CREATIVIDAD
17-102	2. ¿QUÉ FUE EL CENTRO DE CÁLCULO DE LA UNIVERSIDAD DE MADRID?
18-22	2.1. Un centro de cálculo es un centro de cálculo
19-22	2.1.1. Experimentación
22-36	2.2. Llega una supercomputadora a España en 1968
23-24	2.2.1. Como llegó la computadora a la Universidad de Madrid
24-26	2.2.2. IBM 7090 en otras universidades europeas
26-29	2.2.3. La máquina de la Universidad de Madrid
29-31	2.2.4. ¿Qué costó traer el supercomputador a Madrid?
31-36	2.2.5. Recepción de la máquina
36-65	2.3. Actividades del Centro de Cálculo
38-39	2.3.1. ¿Cual fue la actividad que allí se desarrolló?
39-49	2.3.2. Publicaciones
49-50	2.3.3. Apoyo a la investigación universitaria
50-51	2.3.4. Formación de una biblioteca especializada en asuntos informáticos
51-60	2.3.5. Exposiciones de arte
61-62	2.3.6. La gestión del Fondo IBM para la iniciación y ayuda a la investigación
62-65	2.3.7. Cursos, coloquios, simposios, conferencias y colaboraciones
66-67	2.4. De qué se hablaba en los seminarios
68-69	2.4.1. De cómo surge la idea de hacer seminarios
70-96	2.4.2. Qué asuntos se abordaron en cada seminario
96-99	2.4.3. Los participantes
100-102	2.4.4. ¿Por qué fue tan novedoso lo sucedido en los seminarios?
103-134	3. ARTE Y COMPUTADORAS: EL CONTEXTO INTERNACIONAL
104-107	3.1. En nacimiento de una nueva estética de arte computacional
107-116	3.2. Antecedentes

109-111	3.2.1. Telar de Jacquard, imagen y código
111-112	3.2.2. Cibernética
113-114	3.2.3. Esculturas interactivas (cibernéticas)
115-115	3.2.4. Arte cinético
115-116	3.2.5. <i>Independent group</i>
116-116	3.2.6. Alan Turing y Bletchley Park
116-118	3.3. Primeras imágenes generadas por ordenador en pantalla
118-119	3.4. Dibujando con <i>plotters</i>
119-121	3.5. Ordenadores analógicos: animaciones en pantalla
121-122	3.6. Militares y aficionados
122-123	3.7. Primer Arte Computacional en Alemania
123-124	3.8. Laboratorios Bell
125-126	3.9. <i>Cybernetic Serendipity</i>
126-129	3.10. Otros lugares
129-134	3.11. El Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid en este contexto
135-144	4. IDEAS
135-136	4.1. La idea de crecimiento orgánico de D'Arcy Wentworth Thompson
136-137	4.2. Teoría general de sistemas
137-137	4.3. Joseph Schillinger y una base matemática de las artes
137-138	4.4. Las teorías de la información de Claude Shannon
138-138	4.5. Chomsky y la gramática generativa
138-139	4.6. La estética de Max Bense
139-140	4.7. Antecedentes y conexiones con el arte tradicional (Estructuralismo, Op, Kinetic, Azar...)
140-140	4.8. Características: Modularidad, generatividad, geometría, estructuras...
140-141	4.8.1. Combinatoria
142-142	4.8.2. Teoría de conjuntos
142-143	4.8.3. Modularidad
144-144	4.9. Gramáticas formales y Gramáticas libre de contexto
145-151	5. ÉXITOS DE LAS EXPERIENCIAS ARTÍSTICAS/CREATIVAS DE LOS SEMINARIOS DEL CCUM
153-167	6. EL FIN DE UNA ÉPOCA
155-158	6.1. El ordenador personal
155-156	6.1.1. El ordenador personal y los Microordenadores
156-157	6.1.1. El <i>software</i> comercial
157-158	6.1.2. La red y el caos
158-165	6.2. La continuación del arte computacional
165-167	6.3. El nuevo arte digital
169-204	7. ALGUNAS RESPUESTAS

169-173	7.1. Un encuentro. Lugañ
174-182	7.2. La máquina. Isidro Ramos
183-198	7.3. El pasado, presente y futuro del pasado. Javier Seguí de la Riva
198-204	7.4. De cómo llegaron al Centro de Cálculo algunas de las principales ideas estético-culturales. Ignacio Gómez de Liaño
205-261	8. SELECCIÓN DE ARTÍCULOS DE LOS BOLETINES
205-221	8.1. Una aplicación de la Gramática de casos. Violeta Demonte
222-238	8.2. Pintura modular. Florentino Briones
239-251	8.3. Teoría de la Acción en el Diseño arquitectónico. Tratamiento automático de un ejemplo de conducta. Andrés Cristóbal Llorente, Carlos Sevilla y Guillermo Searle
252-261	8.4. El ordenador bien temperado. Eduardo Polonio
263-266	9. ¿QUÉ SUCEDIÓ EN EL CENTRO DE CÁLCULO ENTRE 1968 Y 1973?
267-269	10. EPÍLOGO
271-273	11. BIBLIOGRAFÍA

1. ¿Qué fue Centro de Cálculo? Los seminarios, la computación, ciencia, el arte computacional y la creatividad

¿Qué sucedió en Madrid, en la Avenida de la Complutense sin número, en el edificio diseñado por Miguel Fisac entre 1968 y 1973?

En el Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid suceden cosas extraordinarias, en un contexto difícil –la dictadura y el aislamiento científico y cultural–. Las circunstancias excepcionales que posibilitan la existencia de un lugar de encuentro e intercambio de información avanzada tienen como consecuencia unos desarrollos artísticos que exploran las posibilidades que la computación ofrece para la creación, justo en el momento en el que en ciertos lugares del planeta emergen los primeros proyectos de arte computacional.

El Centro sirve como lugar para la difusión y exploración de las ideas y modelos que permiten desarrollos estructurados en las artes plásticas, la arquitectura, la lingüística y la música. Algunas personas con la información adecuada contribuyen con ese conocimiento y posibilitan el florecimiento de un contexto en el que las ideas de vanguardia internacionales pueden desarrollarse. La sorprendente rapidez con que estas ideas y prácticas arraigan en el Centro de Cálculo, al mismo tiempo que en Alemania, Nueva York, Londres o Tokyo, junto a las singularidades de los proyectos y el carácter excepcional de algunos de los participantes, sitúan rápidamente al Centro y sus participantes en la escena internacional, apareciendo en los primeros libros y revistas que recogen el arte de vanguardia relacionado con la computación.

Para comprender las prácticas artísticas que se realizan en el CCUM, en los respectivos seminarios, analizaremos el nacimiento del arte computacional en el contexto internacional, y los antecedentes que sirven como cultivo para las ideas que sustentarán los proyectos de artistas e ingenieros en distintos lugares privilegiados del mundo, así como su relación con los participantes en el CCUM.

Desde finales del siglo XIX se va consolidando la idea de que existe una base matemática en las formas de la naturaleza y el arte. Se empieza a formalizar un modelo estructurado del lenguaje y pensamiento, un modelo que resultará esencial en el diseño de los primeros ordenadores digitales, así como en la lógica que posibilitará su funcionamiento y la codificación de la información con que operarán. Estos modos de pensamiento ordenado, estructurado y modular conducirán hacia formas de creación originales que explorarán las posibilidades de la combinatoria, parametrización y empleo de modelos matemáticos para la generación de formas bidimensionales o tridimensionales, música, arquitectura y lenguaje.

Este va a ser un texto elaborado en su mayor parte por un investigador de Bellas Artes y un geógrafo, es decir, se construirán imágenes y cartografías principalmente. Se describirá cómo se construye el Centro de Cálculo, cómo desde una estrategia comercial de la corporación estadounidense IBM se logra crear un centro de investigación avanzada que además de recoger las ideas y prácticas más novedosas del panorama internacional introduce la supercomputación en España, normaliza el uso de la informática en los procesos de investigación de cualquier área del conocimiento, hace exégesis de la informática y dedica un gran esfuerzo en elaborar planes didácticos que consigue incluir en las enseñanzas regladas del país. En el Centro de Cálculo se construye una red de personas que miran las computadoras como un recurso y como un fin en sí mismo.

Hemos intentado, a través de las publicaciones del propio Centro y de los documentos encontrados en el Archivo General de la Universidad Complutense de Madrid, localizar, enumerar y describir todas las actividades que allí se realizaron, componer una cartografía en la que se puedan seguir las sendas que trazaron las ideas y las personas, marcar los nodos o hitos principales, señalar en qué lugares sucedía cada cosa, dónde encontrar la información. No hemos intentado interpretar lo que significaba cada línea de investigación, pero sí las hemos enumerado en el capítulo «De qué se hablaba en cada seminario»; cada seminario, cada coordinador de seminarios, cada participante tomó y dejó en él una marca que hemos intentado identificar y señalar.

Hemos pedido a Isidro Ramos, Ignacio Gómez de Liaño y Javier Seguí que nos contestasen a algunas de las preguntas, de ahí los capítulos que han resultado de estas respuestas. Isidro Ramos describe cómo era, cómo funcionaba y qué podía hacer la máquina, la IBM 7090; una supercomputadora que no podía hacerlo todo, pero puso a todo el mundo a pensar lo que podría ser posible hacer con ella. Ignacio Gómez de Liaño traza el panorama cultural y

artístico de esos años, cómo llegaron algunas de las ideas y prácticas desde Europa y América al Centro de Cálculo. Javier Seguí hace, a través de un lenguaje poético y con imágenes verbales, una descripción de cómo impactaron en muchos todo lo que allí y en otros lugares sucedía, y lo que pensaron que sería el futuro se trasladó a un presente posibilista y joven. El texto de Luis García, LUGÁN, es tan misterioso como esclarecedor. Pone el foco en lo que no se ha puesto con frecuencia, que la computación, la informática, puede ser o no digital, que lo analógico, en un principio propició avances conceptuales y técnicos, y que abrió caminos hasta hoy muy inexplorados.

Incluimos también cuatro artículos que fueron presentados en los Boletines del Centro de Cálculo, la publicación referente de la actividad en los seminarios, artículos que dan medida de cual era el nivel de excelencia y la cotidianeidad en cuatro de los seminarios fundamentales, los de Arquitectura, Lingüística Matemática, Artes y Música. Se publicaron como noticias de las investigaciones que se estaban realizando, sus autores: Violeta Demonte, Florentino Briones, Guillermo Searle y Eduardo Polonio, participaron muy activamente y han continuado durante toda su trayectoria profesional refiriendo este momento personal.

2. ¿Qué fue el Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid¹?

«L'universo è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.»²

(Galilei 1997, 16-17)

Se han construido varios relatos normalizados sobre el Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, todos ciertos y todos llenos de ficciones bienintencionadas. Para montar estos relatos se ha hecho uso de una tradición oral alimentada en cientos de conferencias en muchas reuniones científicas, jornadas, exposiciones y alguna publicación. Todos ellos destacan unos aspectos sobre otros dependiendo de las fuentes utilizadas. La fábula que sigue no es diferente en su carácter a estos otros relatos, tiene de singular que está basada tanto en la lectura de las publicaciones que se hicieron desde el Centro de Cálculo como en las conversaciones con algunos de los participantes y un marco teórico distinto.

Los asuntos que se tratan en esta parte de la publicación son: por un lado, contar qué era el Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, cómo se conformó en una estructura universitaria y a su vez cómo se convirtió en algo muy distinto de lo que eran y son las estructuras universitarias; qué se hacía allí, cuales fueron las tareas que se le encomendaron en su fundación y cuáles se llevaron a cabo y de qué manera; cómo se hizo posible que IBM cediera una máquina, una supercomputadora a una universidad, como llegó y como se instaló; cómo funcionó en sus primeros momentos; y en qué fue diferente a otros centros de cálculo, cómo los seminarios que en principio eran herramientas de formación de profesionales de la informática se constituyeron como uno de los espacios más singulares de investigación en la España del momento.

¹ El cambio de nombre incluyendo Complutense tuvo lugar en 1970.

² «El universo está escrito en lengua matemática, y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas sin los cuales es humanamente imposible entender una palabra; sin ellos se deambula en vano por un laberinto oscuro».

El periodo que se va a analizar en esta primera parte de la publicación va de 1968 a 1973, que se inicia con los movimientos obreros y estudiantiles en Francia o los políticos en Checoslovaquia hasta la Crisis Mundial de los carburantes, cinco años que marcan un cambio de paradigma en la historia mundial en la que se van encadenando diferentes crisis políticas, sociales y económicas que encaran el último cuarto de uno de los siglos más convulsos de la historia de Europa; pero también es el periodo de vigencia del convenio entre la IBM y la Universidad Complutense para la cesión de una supercomputadora, la IBM 7090. Es innegable el interés de lo sucedido en el Centro de Cálculo con posterioridad a 1973, pero si atendemos al hecho del impacto de la utilización de una supercomputadora en la creación, en todos los ámbitos, es este el espacio temporal que presenta un mayor interés.

2.1. Un centro de cálculo es un centro de cálculo

El Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid fue por encima de todo un centro de cálculo, un lugar donde se investigaban las posibilidades del cálculo automático, pero no fue solo un centro de cálculo, desarrolló una actividad de investigación en campos muy diversos y dio frutos inesperados en áreas inesperadas como la Lingüística, las Bellas Artes, la Arquitectura o la Música.

Acogió la primera supercomputadora del estado español la IBM 7090 donada por la corporación estadounidense IBM y procedente de la *Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg* (Universidad de Heidelberg) en Alemania³. Esta donación formaba parte de la estrategia comercial en Europa de la firma americana. Tras la Segunda Guerra Mundial, en diferentes universidades (Harvard, Pensilvania, Cambridge o Manchester entre otras) se construyeron grandes computadoras, pero paralelamente empresas como IBM, Bell, Hewlett-Packard, Siemens o CDC van creando computadoras que son puestas en el mercado internacional. En diversos países europeos se plantea la disyuntiva de desarrollar planes de creación de computadoras diseñadas por investigadores nacionales, o bien, adquirir equipos a compañías extranjeras. En 1965 la compañía IBM se cuela en el intersticio de este dilema y adopta una política comercial que parece apoyada en el refrán «quien regala bien vende» y abre mercado donando a diferentes universidades europeas com-

³ Sobre las características técnicas de la computadora ver el capítulo 7.2 La máquina, escrito por Isidro Ramos.

putadoras que estaban siendo retiradas y sustituidas por la nueva serie puesta a la venta, máquinas aún en buen uso. Esta estrategia le permite tomar una posición de ventaja en el mercado internacional.



Figura 1. Sala de máquinas IBM 7090. Edificio Centro de Cálculo.

En este contexto llega la máquina a la Universidad de Madrid, que establece un convenio por cinco años con IBM, en el que como veremos, se implantan unas condiciones similares a las que se tuvieron con otros países, pero que en nuestro caso fructifica en una actividad creativa singular y novedosa tanto nacional como internacionalmente y que se basa en la convergencia del equipo humano que dirige el centro, formado y receptivo, que asume unos planteamientos de experimentación propios del momento cultural español, y una organización de la investigación en seminarios a los que acuden jóvenes creadores que sintonizan, pero también construyen, un entramado intelectual de excelencia que ha mantenido su interés hasta hoy.

2.1.1. Experimentación

La frase, «La máquina es una anécdota marginal, un útil» de Javier Seguí de la Riba recogida en el Boletín CCUM⁴ número 16 de julio 1971 en la página 56, señala el hecho diferencial del Centro de Cálculo. La máquina, el uso real de la misma, no era el hecho relevante por el que creadores, científicos

⁴ Abreviatura de Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.

y humanistas se acercaron en un primer momento al Centro de Cálculo durante los primeros años de su funcionamiento, esta máquina actuó como un tótem alrededor del que se desarrolló la experiencia y la experimentación, un símbolo de los nuevos tiempos, podemos atribuirle al objeto la función de ser uno de los faros del inicio de la posmodernidad en España.



Figura 2. Exposición *Creatividad abierta* en Sala C Arte C (UCM) 2012.

En el Centro se dieron varios universos paralelos, por un lado, España pudo inscribirse en una nueva era de cálculo matemático que permitía investigaciones científicas apoyadas en unas posibilidades de computación mejores que aceleraban los procesos reiterativos. Y en este plano cambiaron las metodologías de investigación, los procesos repetitivos dejaron de ser un obstáculo para numerosos investigadores, y las estrategias a la hora de abordar los asuntos sufrieron un vuelco al contar con las posibilidades de la informática. El dato destacable es que durante el primer año de funcionamiento de la máquina el 71% del tiempo es utilizado en proyectos provenientes de facultades de ciencias según la *Memoria del Centro 1968-69* (Centro de Cálculo 1969, 15).

Pero para la creación, para la *poiesis*, para la posibilidad de pasar de la idea al objeto creado fue una absoluta revolución. La máquina, la IBM 7090,

fue el referente que hacía a cada uno reflexionar sobre su propio trabajo, y también sobre el trabajo en sí, sobre la producción artística o literaria como asunto de referencia, sobre la autoría de la obra, el papel del creador, el fin social del arte, de la arquitectura o de la música. La computadora propició la mirada interior, como *tecné* pura significó un proceso de toma de conciencia, de inmanencia. Eusebio Sempere se replanteó su papel de artista «Conscientes del pequeño papel que puede cumplir el artista, éste trata de inventar un nuevo alfabeto sirviéndose de la máquina para crear una nueva simbología científica, ya que la Ciencia se ha convertido en la luminosa (?) meta» (Boletín CCUM, 16, julio 1971, 58). Son los años de la llegada del hombre a la luna, del descubrimiento de los púlsar, se teoriza el Bosón de Higgs, se realizan trasplantes de órganos, se sintetiza la insulina, y otros muchos descubrimientos científicos, pero es la computación y el germen de Internet lo que sirvió de catalizador al cambio y sobre todo a la percepción social de que estaba sucediendo un cambio de era. En estos momentos los artistas, los genios creadores, la inspiración, la trascendencia o la imaginación quedaban fuera de tiempo.

En el Centro de Cálculo, en diferentes seminarios, se plantearon cuestiones nuevas para la creación, se asumió el estudio de la estética computacional de Bense, Moles o Franke entre muchos, pero se incorporaron también las últimas teorías lingüísticas de Chomsky y también la psicología lacaniana o la filosofía de Wittgenstein.

Con la referencia de ese tótem computacional se abordaron asuntos centrales hoy pero muy novedosos entonces como el concepto de autoría, la democratización de la producción artística, el análisis de los métodos de producción creativa, considerar la gestación del proyecto y la investigación alícuota al mismo como parte de la obra, la transversalidad en la investigación entre áreas de conocimiento diferentes, la utilidad del arte, los fundamentos musicales, la construcción de lenguajes artificiales o la incorporación de la psicología a la arquitectura.

Lo que caracterizaba los proyectos que se realizaban en el Centro de Cálculo era la experimentación y la inmediatez.

El periodo que se analiza va de 1968 a 1973, el tiempo en el que la IBM 7090 está en pleno rendimiento. La Corporación IBM y la Universidad de Madrid firmaron un convenio de cinco años, transcurridos éstos la universidad se plantea sustituirla por una máquina de la nueva serie, la 360. Asumimos el carácter simbólico y totémico de esta computadora como cota temporal para la reflexión sobre «¿qué fue?» el Centro de Cálculo, y analizaremos

lo que sucede durante el tiempo en el que la máquina, la que motiva el inicio de la actividad, está en pleno funcionamiento.

A partir de 1973 desaparecen la mayoría de los seminarios y la actividad de los que continúan no es parangonable a lo que había sucedido, los boletines ya no recogen la información agrupándola por la actividad en los mismos. En 1974 Florentino Briones deja la dirección del Centro, y el carácter del Centro es cada vez más el que se espera de un centro de cálculo, de un lugar donde el eje vertebrador es el cálculo automático y sus aplicaciones en la investigación científica, es un centro donde la informática y su didáctica se convierten en sus objetivos fundamentales.

Para la elaboración de este texto se han utilizado las publicaciones propias del CCUM, sobre todo boletines, memorias, monografías o catálogos; documentación del Archivo General de la Universidad Complutense de Madrid; publicaciones diversas del ámbito internacional que forman parte de la Biblioteca del Centro de Cálculo custodiada en la Biblioteca de la Facultad de Informática de la UCM; de inestimable valor han sido las entrevistas y conversaciones que durante los últimos diez años se han mantenido con personas vinculadas al Centro, entre todas caben destacar las numerosas e impagables con Florentino Briones, Ignacio Gómez de Liaño, Javier Seguí de la Riva, Ernesto García Camarero, Guillermo Searle, Ana Buenaventura, José Luis Alexanco, Violeta Demonte, Carlos Piera, José María Yturralde, Isidro Ramos, José Miguel de Prada Poole, Luis García (Lugán) o Mario Fernández Barberá.

2.2. Llega una supercomputadora a España en 1968

En 1965 se inició el proceso de tener una supercomputadora en España. Como en el resto de Europa, había dos posibles vías para ello: construir una con los recursos propios de cada estado; o comprar una máquina a una de las grandes compañías internacionales, IBM, General Electric, Siemens, Olivetti, CDC o Bull.

Eran las primeras décadas de la utilización generalizada de grandes ordenadores. Las administraciones estatales, grandes compañías, universidades o centros de investigación eran los destinatarios objetivos de estas computadoras. Circunstancias de índole muy diverso llevaron a que en España la primera supercomputadora perteneciese a la Universidad de Madrid, y que ésta no pudiera ser utilizada para tareas administrativas o de gestión, sino exclusivamente para investigación, y más aún, que fuera utilizada en campos

a priori no habituales como fueron la arquitectura, la música, la medicina, la didáctica, la lingüística o el arte; esta experiencia del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid supuso un hito en la creatividad en la España de la segunda mitad del siglo XX, cambió el paradigma de muchos intelectuales y creadores que dieron un salto cualitativo importantísimo y se situaron en la vanguardia internacional con propuestas muy novedosas.



Figura 3. Instalación en la Sala de máquinas.

2.2.1. *Cómo llegó la computadora a la Universidad de Madrid*

El modelo IBM 7090 desarrollado en 1958 por la *International Business Machines Corporation* (IBM) fue el primer gran ordenador que utilizaba transistores, tuvo una respuesta comercial exitosa teniendo en cuenta que su precio era muy elevado, aproximadamente unos tres millones de dólares estadounidenses⁵, en 1965 se habían vendido unas trescientas unidades; sin embargo los departamentos comerciales de IBM constataron que la mayor parte de los mismos se habían ad-

⁵ El cambio serían unos 190 millones de pesetas, o 1,132 millones de €, la cifra actual teniendo en cuenta la inflación sería astronómica.

quirido en EE.UU., muchas universidades y centros de investigación americanos contaban con una unidad, por lo que se diseñó una estrategia de implantación mundial. La corporación regalaría diez unidades a universidades no americanas, cinco en Europa, procedentes de los cambios a la nueva serie IBM 360. Se estableció que preferentemente el destino de las máquinas serían los países europeos más desarrollados, esto es: Alemania, Francia, Gran Bretaña e Italia, y una más iría a un país pequeño (Gjerlov 2014). Las negociaciones para las donaciones no siempre fructificaron, se ha de tener en cuenta que las condiciones que detallamos más adelante suponían para la entidad receptora una inversión económica cuantiosa y por otra parte en Europa en esos momentos hubo varios proyectos de construcción de ordenadores por entidades nacionales o locales o por universidades con centros avanzados. El dilema era obvio: apoyar una incipiente informática local, o dar un gran impulso al uso de computadoras en educación e investigación aprovechando la tecnología de una gran empresa estadounidense.

A partir de 1965 se incrementaron las donaciones a universidades europeas por parte de la corporación americana, la nueva serie de ordenadores IBM 360 acababa de salir al mercado y estaban teniendo un gran éxito, de forma muy rápida sustituyeron a las computadoras de la serie 7090, e IBM reubicó varias de las que se retiraban hacia universidades de diferentes países como parte del programa de implantación mundial de sus computadoras, entre ellas la del *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN) de Ginebra, que tras un año instalada provisionalmente en la Universidad de Heidelberg, llegó a Madrid.

Es en este contexto en el que se inician en 1965 las primeras negociaciones para la instalación en Madrid de un ordenador IBM 7090, la filial IBM España quiso establecer los primeros contactos con el Ministerio de Educación Nacional, siguiendo las pautas marcadas desde la sede de Nueva York. En otros casos como Dinamarca, Gran Bretaña o Italia así se había hecho, primero se hablaba con el gobierno nacional que era quien establecía a que entidad de investigación o educativa del país iría la computadora.

2.2.2. IBM 7090 en otras universidades europeas

El 13 de noviembre de 1965 se inaugura en la *Università di Pisa* el *Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico* (CNUCE)⁶, el discurso ins-

⁶ La información se obtiene de la transcripción del discurso de inauguración en la web de la Biblioteca de la Universidad de Pisa <https://www.sba.unipi.it/it/risorse/archivio-fotografico/eventi-in-archivio/1965-inaugurazione-del-centro-nazionale>

titucional corre a cargo de Alessandro Faedo, rector de la universidad con la presencia del presidente de la República Italiana, Giuseppe Saragat, y representantes del gobierno, el parlamento y autoridades militares y religiosas, lo que nos da idea de la importancia que se concedió en Italia a este evento. Las condiciones contractuales que plantean para la cesión del equipo desde IBM a la administración italiana son similares a las que se establecen con la Universidad de Madrid. Hay que señalar que la universidad italiana tenía una amplia trayectoria anterior en investigación en computación, que las negociaciones que se inician en 1964 y se alargan más de lo esperado ya que la hacienda italiana no admite las condiciones fiscales solicitadas por la corporación americana; también señalar que la aportación económica la hace el *Ministerio dalla Pubblica istruzione*, no la universidad; por un total de 207 millones de liras italianas⁷, la mitad aproximadamente de lo que resultó aportado por la Universidad de Madrid⁸. Las restricciones de uso son similares, esto es, no puede ser utilizada para tareas administrativas, solo investigación. Cabe destacar que en la inauguración oficial se presentaba el primer trabajo realizado con la IBM 7090 de la Universidad de Pisa, las *Concordancias de la Divina Comedia* de Dante. También es relevante el hecho de que en la Universidad de Bolonia hubiese ya instalado un equipo de características similares al que acabó en Madrid, según se desprende del documento de IBM Italia '*Partecipazione della IBM Italia alla vita dell'università italiana*'⁹ y que un número considerable de equipos de menor potencia estuvieran presentes en numerosas universidades italianas.

En Gran Bretaña la institución que acoge la donación fue el *Imperial College* en Londres. En este país ya se había desarrollado una supercomputadora por la universidad de Manchester, se llamaba *Atlas*, se fabricaron dos y una se instaló en la Universidad de Londres. El país contaba con destacadísimos investigadores y una amplia trayectoria en el campo de la computación e informática, la instalación de la IBM 7090 no supuso un impacto en el panorama de investigación o educación similar al ocurrido en España. Por otro lado investigadores de todos los campos ya trabajaban con computadoras, cabe nombrar la exposición paradigmática del binomio arte y ordenadores que fue *Cybernetic serendipity*, que tuvo lugar en Londres en 1968.

⁷ Un cálculo aproximado serían 19,8 millones de pesetas / 118000 €.

⁸ Los capítulos de gasto descritos son prácticamente los mismos que los que aparecen en el contrato español.

⁹ https://www.sba.unipi.it/sites/default/files/eventi_archivio/2019_04_18_11_05_32.pdf



Figura 4. IBM 7090 en Universidad de Pisa.

En el caso danés, se constituyó el *NEUCC (Northern Europe University Computing Center)* centro que se estableció en la *Technical University of Denmark*, que daría servicio a toda la comunidad científica escandinava (Noruega, Suecia y Finlandia además de la propia Dinamarca) y también a la holandesa. Las negociaciones fueron dificultosas porque los daneses tenían un gran interés en construir su propia computadora. El uso al que se destinó la computadora fue el que cabía esperar, proyectos matemáticos y científicos en su mayoría.

La Universidad de Nuremberg en Alemania recibió también una donación de un equipo en condiciones similares a las descritas.

2.2.3. *La máquina de la Universidad de Madrid*

En España, la corporación americana se había puesto en contacto con José García Santesmases, catedrático de Física Industrial en la Universidad de Madrid que había sido uno de los pioneros en Informática en nuestro país, según consta en el primer documento que encontramos sobre la constitución del Centro de Cálculo en el Archivo de la Universidad Complutense de Madrid, una carta fechada el 29 de septiembre de 1965. En ella Fernando de Asúa, Director de IBM España escribe a Enrique Gutiérrez Ríos, rector de la Universidad de Madrid en estos momentos, para hablar del ofrecimiento de la corporación norteamericana a la Universidad de instalar un ordenador de alta capacidad. En la misma carta está manuscrita la indicación de que el 9 de octubre almorzaron los tres,

(AGUCM, R-345, 1)¹⁰. Adjunto a esta carta, Fernando de Asúa remite al rector de la Universidad un contrato proforma dirigido al Ministerio de Educación Nacional en el que se detallan los términos de la cesión del ordenador. En un principio se convenía con el Ministerio, no con la Universidad de Madrid.

La corporación propone como nombre Centro de Cálculo Nacional Universitario IBM (similar al propuesto al resto de los otros convenios europeos). Así mismo describía la organización funcional del mismo en la que se constituiría un patronato con representación de dicha empresa. También se indica que ha de existir un comité ejecutivo, también con representación de IBM, del cual formaría parte también el director del centro. En lo que se refiere a su designación fue la propuesta de IBM, es decir, Florentino Briones, que ya había trabajado con un ordenador similar y conocía el esquema de trabajo de la compañía, quien tomó las riendas del Centro. Briones era de los pocos españoles con experiencia previa en trabajo con supercomputadoras, ya trabajaba con una máquina similar en el Centro Europeo de Tratamiento de la Información Científica, CETIS, que era el centro de cálculo del *Centre Commun de Recherche* de la Comunidad Europea en materia de energía atómica (Euratom) en su sede en Ispra – Italia, tenía así mismo una brillante trayectoria de investigación y presentó un proyecto de funcionamiento del centro (AGUCM, R-345, 1, 4 de enero de 1966) muy adecuado a las experiencias de anteriores centros europeos. Lo interesante de este dossier era que contenía el germen de la experimentación que se llevó a cabo en el centro de cálculo y que supuso un impulso a la creatividad en todos los campos de conocimiento que allí se desarrollaron; planteaba cuatro tipos de actividades para el centro, la primera: el cálculo, que era la que se podía esperar; las otras tres: información, enseñanza e investigación se desarrollaron en el Centro de Cálculo de Madrid de una forma muy singular.

En la Primera estipulación del convenio se indicaba que el fin del centro era la educación, investigación y resolución de problemas en el campo del Proceso de Datos. Se indicaba también que el ministerio habilitaría un local en la Ciudad Universitaria de Madrid, según las indicaciones técnicas de IBM y que el resto de universidades centros superiores y de educación secundaria del país podrían hacer uso de la computadora; para la gestión del tiempo de computación sería el director del centro quien decidiría.

En la carta en la que se adjuntaba este primer borrador del convenio IBM no se indicaba qué modelo de ordenador se instalaría, sólo que sería de alta

¹⁰ Archivo General de la Universidad Complutense de Madrid, R-345, 1: Expediente sobre la cesión por parte de IBM del ordenador IBM 7090 y la creación del Centro de Cálculo de la Universidad, 1965-1967.

capacidad con todos los periféricos necesarios para su funcionamiento, sí se detalla en los documentos adjuntos. También se decía que IBM sería la encargada del mantenimiento del mismo, así como de la incorporación o sustitución de las piezas necesarias para su correcto funcionamiento.

La duración del convenio era de cinco años y la propiedad del equipo se mantendría en IBM que una vez acabado el plazo podría disponer del ordenador.

Una de las cuestiones más provechosas para IBM aparecía en la estipulación octava en la que se advierte de que cualquier invento llevado a cabo por el personal del Centro de Cálculo había de ser informado a la empresa americana, que sin el pago de ningún canon podría hacer uso del mismo¹¹, de manera que la investigación en universidades sobre máquinas comerciales era muy rentable para las corporaciones, ya que suponía añadir funcionalidades nuevas y nuevas posibilidades de venta.

El uso de la computadora, según se establece en la estipulación décima, por parte de la Universidad de Madrid, así como el del resto de las instituciones participantes, debe ser para educación e investigación no para procesos administrativos comunes. Esta era parte de la estrategia comercial de IBM ya que, para los procesos administrativos comunes de las entidades, IBM podría vender otras máquinas para estos menesteres. Los nuevos ordenadores de la serie 360, más económicos y de mayores prestaciones, que se ponen a la venta a partir de 1965, tuvieron un gran éxito de ventas en toda Europa y se incorporaron no solo a administraciones o grandes entidades sino también a empresas de tamaño medio; esta nueva serie sirvió para universalizar el uso de la informática en el ámbito administrativo y de gestión (IBM, 2008).

IBM se comprometía a establecer unas becas de formación por valor de tres millones de pesetas para estudiantes. Detrás de esto había la necesidad de formar profesionales, no existía una titulación universitaria y se preveía una gran necesidad de expertos. Como inciso resaltar el interés por parte de la dirección del Centro de Cálculo en que todos los participantes en las actividades aprendieran el lenguaje de programación Fortran IV, diseñado como lenguaje de programación nativo para las máquinas IBM desde 1957, este lenguaje tuvo el monopolio en las tareas de computación de alto rendimiento durante un largo periodo.

Este empeño en que artistas, arquitectos o músicos aprendieran un lenguaje de programación, tarea realmente difícil, supuso para muchos de ellos la decisión de abandonar los seminarios del Centro de Cálculo. Es muy significativo

¹¹ Hay que significar que en estos momentos una de las estrategias comerciales era la de encontrar aplicaciones empresariales a las computadoras, así como ampliar las posibilidades de funcionamiento de las mismas.

el caso de Eusebio Sempere que en un escrito leído en la última reunión del seminario de artes plásticas del curso 70-71, dice entre otras cosas: «Los pintores somos gente modesta y la ciencia poderosa. Y rica la «sociedad IBM». ¡Que nos llamen alienados pero no indigentes!» (Boletín CCUM, 16, julio 1971, 59).

También se indicaba en este primer borrador del convenio que todas las cintas y consumibles necesarios para el funcionamiento de la computadora serían suministrados en exclusiva por IBM España, que los aranceles de importación recaían en la administración española y que el ministerio se encargaría de que todas las donaciones y aportaciones de la empresa tuvieran desgravación fiscal.

En un nuevo escrito nueve días después de la reunión entre el rector, Asúa y Santesmases, (AGUCM, R-345, 1, 18 de octubre de 1965) el director de IBM remite al rector un documento en el que ya no es el ministerio sino la universidad la parte contratante. El borrador nuevo no contiene otras diferencias significativas.

Tan solo ocho días después, el rector escribe al Ministro de Educación Nacional, Manuel Lora Tamayo y al Director General de Enseñanza Universitaria, Juan M. Martínez Moreno (AGUCM, R-345, 1, 26 de octubre de 1965) y les remite copia del contrato y les informa que este mismo acuerdo ya ha tenido lugar con las universidades de Milán, Copenhague y con el *National Físical Center* de Londres¹².

2.2.4. ¿Qué costó traer el supercomputador a Madrid?

En la documentación del Archivo General de la Universidad Complutense de Madrid encontramos información en la carta de fecha 28 del mismo mes remitida (AGUCM, R-345, 1, 28 de octubre de 1965) también al rector por parte de Fernando de Asúa, director de IBM España, como continuación de la anterior en la que se detalla la aportación económica para el periodo de cinco años de cada una de las partes y que en resumen detalló a continuación:

Aportación de IBM:

- El equipo informático: 192 millones de pesetas.
- Becas para formación: 15 millones de pesetas.
- Aportación extraordinaria del primer año: 600.000 pesetas.

¹² Como hemos visto no eran estos centros con los que la corporación estableció convenios, desconocemos la procedencia de esta información.

- El descuento del 20% en el mantenimiento: 550.000 pesetas. 2,75 millones los cinco años¹³.
 - Cesión de cuatro técnicos: 9,6 millones de pesetas.
- Total: 218 millones de pesetas.

Aportación de la Universidad de Madrid.

- Construcción del edificio: 8 millones de pesetas.
 - Instalación del equipo de refrigeración: 1 millón de pesetas.
 - Consumibles (cintas magnéticas, tarjetas perforadas): 5.800.000 pesetas.
 - Mantenimiento del equipo: 11 millones de pesetas.
 - Coste del personal: 15 millones de pesetas.
- Total: 40,8 millones de pesetas

Si en un principio puede parecer desproporcionada la contribución de IBM sobre la de la universidad, si analizamos con mayor profundidad los datos podemos afirmar que no fue así; por un lado el precio de 192 millones de la máquina es excesivo teniendo en cuenta que era una computadora que había estado funcionando en el CERN de Ginebra y antes de llegar a Madrid se utilizó durante un año en la Universidad de Heidelberg. No se puede saber si estaba ya total o parcialmente amortizada, pero ese era el precio de un equipo nuevo, unos tres millones de dólares estadounidenses¹⁴. Además es muy importante tener en cuenta que en esos momentos acababa de salir al mercado la nueva Serie 360 (verano de 1965) y muchos centros estaban sustituyendo las antiguas máquinas de las Series 1400 y 7090 por las nuevas computadoras que supusieron un adelanto sustancial tanto en resultados como en abaratamiento de costes; esta máquina estaría ya fuera de catálogo y su precio sería en esos momentos muy bajo. Se apunta como aportación también el descuento de el 20% sobre la tarifa habitual de mantenimiento; las becas de formación se establecieron, en parte, para formar personal capacitado no sólo para el Centro de Cálculo sino también para las nuevas oficinas que IBM iba a abrir en España y para dar servicio a las posibles nuevas ventas de máquinas en España, de forma que se puede entender que de alguna manera IBM también era destinatario de este importe ya que apoyaba sus posibilidades de implan-

¹³ En carta posterior se corrige el error y se indica que la cantidad total era esta y como consecuencia la aportación total resulta de 220 millones de pesetas.

¹⁴ El cambio en 1965 era de 1\$ aproximadamente 60 pesetas.

tación en España; y casi 18 millones de pesetas de lo que tenía que aportar la Universidad iban directamente a pagar facturas de IBM (los consumibles, el mantenimiento o la instalación del equipo de refrigeración).

De todo ello podemos concluir que en la constitución del Centro de Cálculo el mayor esfuerzo financiero lo realizó la Universidad de Madrid.

El 17 de noviembre el rector Enrique Gutiérrez escribe al Ministro de Educación Nacional, Manuel Lora Tamayo y al Director General de Enseñanza Universitaria, Juan M. Martínez Moreno (AGUCM, R-345, 1, 17 de noviembre de 1965) urgiéndoles a tomar una decisión sobre el Centro de Cálculo Universitario. Se puede suponer que el ministerio, aunque no formara parte del convenio con IBM, aportaría parte del presupuesto económico; si no de forma directa, si pudo ampliar los fondos de la universidad de forma excepcional.



Figura 5. IBM 7090 recién instalada en la Universidad de Madrid.

2.2.5. *Recepción de la máquina en Madrid*

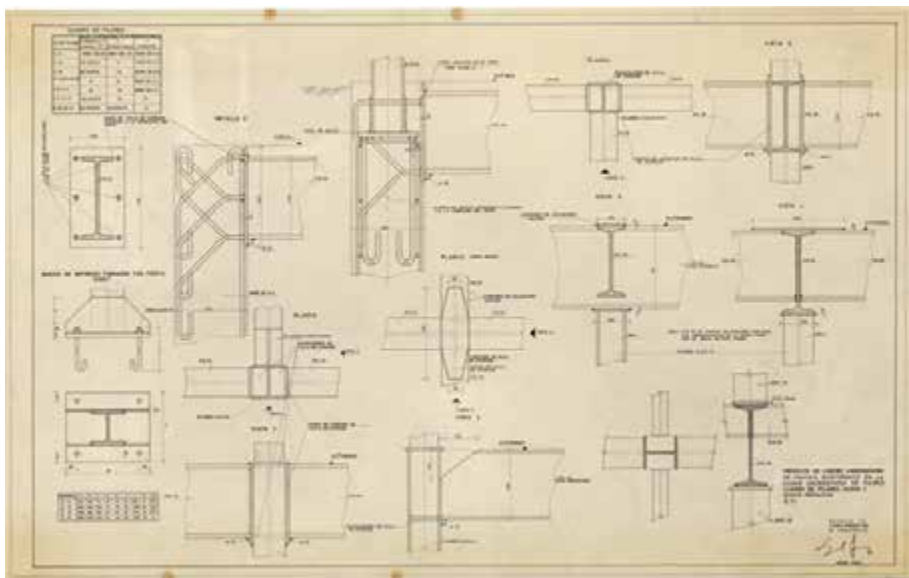
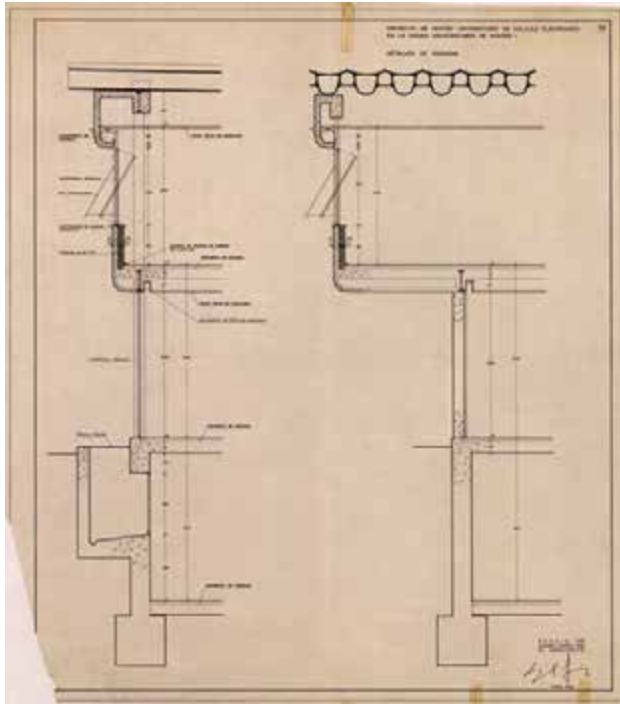
En una misiva de fecha 1 de diciembre de 1965 el decano de la Facultad de Ciencias traslada al rector el malestar de la Junta de Facultad (AGUCM, R-345,

1, 1 de diciembre de 1965) y en especial del doctor Santesmases por la composición del personal que se hará cargo de la computadora. En la carta que dirige la Sección de Matemáticas de la Facultad de Ciencias al Decano y que este hace seguir al Rector se relatan seis puntos por los que entiende esta facultad que la máquina ha de estar al servicio de esa facultad ya que es la que se ajusta a las investigaciones que allí se están realizando. Quizá esto hubiera sido lo más lógico, pero no haber hecho caso a este requerimiento permitió que se diera uno de los momentos más singulares de creatividad en España.



Figuras 6. Edificio CCUM en 1969.

El arquitecto Miguel Fisac envía un primer anteproyecto para la construcción del edificio que albergaría el Centro de Cálculo (AGUCM, R-345, 1, enero de 1966) los primeros días de enero (en el fechado de la carta no se indica el día). Florentino Briones, a la postre director del Centro, remite el 4 de enero su proyecto funcional para el Centro. Es muy destacable la sintonía entre las necesidades funcionales y las ordenaciones arquitectónicas. Puede inferirse que fue desde la compañía IBM desde donde se ajustaron los términos de ambos proyectos y desde donde se impulsó la presentación de los mismos al rectorado de la universidad. Ha de tenerse en cuenta que Miguel Fisac fue el arquitecto que diseñó también el edificio de Paseo de la Castellana en el número 4 de Madrid, sede de IBM España.



Figuras 7 y 8. Planos del proyecto del edificio CCUM.

Tanto el edificio de Fisac como el proyecto para el funcionamiento del Centro de Briones fueron elegidos por la Universidad de Madrid¹⁵, no hay referencia en el Archivo General de la Universidad Complutense a ningún otro proyecto que pudiera haber sido presentado.

A partir de este momento se van entrecruzando correspondencia entre la Universidad, el Ministerio e IBM España en el que se va dando información sobre la aceptación del proyecto arquitectónico, y por fin IBM el 8 de junio de 1966 informa que el ordenador estará en Madrid a partir del 1 de noviembre para su instalación definitiva en el nuevo edificio, y así sucedió (AGUCM, R-345, 1, 8 de junio de 1965).

El rector durante este tiempo recibe algunas misivas curiosas como la de la Facultad de Ciencias (AGUCM, R-345, 1, 9 de febrero de 1965) en la que se queja de la orientación del edificio; o la del presidente de la Junta de Energía Nuclear en la que advierte al rector de que «se van a llevar desde el CERN de Ginebra la máquina a Heidelberg y que los de IBM son muy comerciantes» (AGUCM, R-345, 1, 22 de marzo de 1966).



Figura 9. Instalación de la 7090 en el edificio CCUM.

¹⁵ No tenemos noticia de si se presentaron otros proyectos arquitectónicos o funcionales.



Figura 10. Operadores en la consola de la IBM 7090.

En resumen, la computadora IBM 7090 llegó a Madrid dentro de un plan de expansión comercial de la corporación norteamericana, que habiéndose percatado de su baja implantación en Europa decide regalar algunas unidades a entidades educativas y de investigación. Por un lado, la condición *sine qua non* que se expresa y publicita es que el uso de la máquina ha de ser para investigación y docencia, no para procesos rutinarios. La instalación de la máquina lleva asociada la formación en el Centro de Cálculo de un número amplio de profesionales que aprenderían tanto el sistema operativo como los lenguajes de programación propios de IBM. En un estadio incipiente del mercado informático en España esto supone una posición ventajosa frente a otras empresas. Manejar los ordenadores en estos momentos no estaba al alcance del usuario individual, ha de pasar algún tiempo para que los ordenadores personales popularicen el uso de la informática de forma universal; hasta estos momentos, utilizar una computadora era casi una actividad chamánica e iniciática que muy pocos físicos o matemáticos podían desarrollar. Parte de la estrategia de IBM en estos años era la de ampliar el uso de las computadoras a campos nue-

vos, de ahí que algunos de los seminarios se orientasen hacia la medicina, construcción, educación secundaria o arquitectura. En el caso español una serie de coincidencias motivadas por cuestiones personales incorporaron el arte, la música y la filosofía a las disciplinas que se implantaron en las actividades y seminarios, y este fue uno de los hechos que motivaron el éxito del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.

Conseguir una supercomputadora en 1965 por parte de la Universidad de Madrid supuso un cambio en la dirección en la que muchos jóvenes españoles entendieron el futuro.

2.3. Actividades del Centro de Cálculo

En la primera Memoria de 1968, un librito de dieciocho páginas que se editó para presentar el Centro de Cálculo y dar cuenta de la instalación de la computadora, de sus características técnicas, se hace por primera vez una declaración de intenciones con respecto a lo que debía ser la trayectoria del Centro de Cálculo; en ella se declara lo que a continuación se reproduce que es similar a lo que la corporación IBM tenía diseñado para todos los centros que irían acompañando sus donaciones a universidades europeas.

Como la función específica del Centro es la utilización de las nuevas técnicas automáticas en la investigación y la enseñanza y su impulsión en el ámbito nacional, sus servicios de cálculo estarán abiertos para tareas no rutinarias, a todos los centros universitarios escuelas técnicas superiores y demás organismos docentes y de investigación, dependientes de la Dirección General de Enseñanza Superior e Investigación. Para hacer más eficaces estos servicios, el Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid organizará además, cursos para la preparación de personal en la redacción de programas y en análisis de sistemas, ofrecerá asesoramiento durante el análisis de problemas y la confección de programas concretos, y acogerá en su seno toda iniciativa de estudio, personal o de grupo, de problemas contenidos en la amplia gama a los que un ordenador electrónico se puede dedicar. Esta última actividad se podrá canalizar a través de cursos, conferencias y seminarios; las becas ofrecidas por IBM, colaborarán para hacer más eficaz este empeño.

Como se puede observar no hay una declaración clara que haga pensar que se dará el carácter innovador y transgresor que presidió los primeros años

del Centro de Cálculo, poco se puede intuir por estas palabras lo que meses después comenzaría a desarrollarse en la Universidad de Madrid, y sobre todo no se puede intuir que este centro tendría un carácter tan propio y diferente al del resto de los centros auspiciados por la corporación norteamericana. Como vimos en el primer convenio que se presentó al Ministerio de Educación y Ciencia, el nombre del centro incluía la marca IBM, que finalmente no se utilizó, y como iremos viendo la presencia de IBM en el Centro era importante pero hay que remarcar que el coordinador designado por la compañía Mario Fernández Barberá, formó parte de la construcción de la idiosincrasia del Centro y conformó en gran manera esas formas innovadoras, desarrolló muchas de las actividades más novedosas y significativas del mismo, fue el promotor de la incorporación de las artes visuales en los seminarios, publicaciones, y actividades, fue el comisario de todas las muestras de arte que se promovieron, y su conocimiento del mundo artístico, y su trato anterior con muchos artistas, añadido a su amplia formación científica, propició, siempre en coordinación con el resto de miembros de la dirección del centro, esa novedad que supuso fundir áreas de conocimiento tan dispares.

El propio carácter de la delegación de IBM en España era muy diferente al del resto de las sedes europeas. En nuestro país IBM no era una sucursal de la central de Nueva York, era una empresa de la familia Asúa, una empresa familiar, radicada, totalmente autóctona y en cierta medida autónoma, que representaba a la marca norteamericana en nuestro país. Por lo que las decisiones y el desarrollo de las estrategias comerciales fueron distintas en España.

En la misma memoria en un capítulo denominado *Utilización del equipo electrónico* se enumera quiénes y cómo pueden hacer uso del mismo:

Pueden ser usuarios del Centro de Cálculo todos aquellos centros de enseñanza o investigación dependientes o reconocidos por la Dirección General de Enseñanza Superior e Investigación [...]. Los catedráticos jefes de los distintos departamentos (o equivalentes). Podrán solicitar la inscripción de éstos como usuarios mediante carta dirigida al Presidente del Comité Ejecutivo del Centro de Cálculo explicando, en líneas generales, las actividades de dicho departamento, las investigaciones que piensa desarrollar y cualquier otro elemento que sirva para mostrar el interés científico de la solicitud. En la misma carta o en carta posterior, dirigida al Director del Centro de Cálculo, el jefe del departamento podrá designar un representante, que puede ser el mismo o uno de sus subordinados, debiendo firmar ambas dicha carta.

Son indicaciones de por dónde se entendía que habría de ser la actividad allí desarrollada, investigación en computación y cálculo, desarrollo de herramientas electrónicas como apoyo a la investigación; investigación tutelada por los departamentos y catedráticos universitarios, burocracia a la española. Y de hecho esta actividad tuvo lugar en el Centro, y es más, al final se constituyó en la actividad central y acabó siendo lo que en un principio se pensó que sería. Si atendemos a la utilización de la máquina (Centro de Cálculo 1969, 15) el porcentaje de utilización según el tiempo de cálculo el 71% está dedicado a proyectos de Ciencias, porcentaje que aumenta hasta el 79% un año después (Centro de Cálculo 1970, 15).

La actividad que se escapó a estas líneas marcadas al inicio solo tuvo lugar entre 1968 y 1973. Y si atendemos a los tiempos de utilización de la IBM 7090, estas líneas de investigación novedosas (artes visuales, arquitectura, música o lingüística) no fueron prioritarias, el hecho de que los seminarios desarrollaran una actividad tan fecunda no tenía tanto que ver con el acceso a los procesos de computación de la máquina y sí con las posibilidades conceptuales, y sobre todo con la percepción de que se había llegado a un cambio de paradigma en la producción y en la creatividad. La máquina, la computadora IBM 7090 era un referente que propiciaba a los creadores la reflexión sobre su propio trabajo.

2.3.1. ¿Cuál fue la actividad que allí se desarrolló?

El espacio fundamental en el que se desarrolló esta actividad diferente y heterodoxa fueron los Seminarios; a ellos se dedica un capítulo más adelante, pero no fue éste el ámbito exclusivo de la investigación del Centro del Cálculo.

Aunque lo que se observa en el proceso cotidiano de estas actividades es que en el Centro se desarrollaron mayoritariamente las propias de una entidad dedicada al cálculo automático. Fue un centro de cálculo e investigación en informática en el sentido estricto en el que tuvieron lugar unas experiencias innovadoras que durante unos cinco años pasaron de ser tangenciales a convertirse en su identidad principal, y sobre todo fueron lo que le dio presencia nacional e internacional, pero lo que allí sucedía en un porcentaje amplio era lo que cabía esperar.

Es cierto que el sentido novedoso, el huir de las jerarquías, el compartir conocimiento, el no tener prejuicios a la hora de admitir asuntos de inves-

tigación disidentes, en definitiva, en constituirse como un lugar donde las metodologías eran muy diferentes a las propias de la universidad española les llevó a tener una actitud diferente a la que hubiera tenido lugar en un departamento de ciencias universitario; allí se consideró lo creativo como un trabajo (Brea 2007) ayudado por máquinas de cálculo. Se promovió la utilización del equipo por parte de universidades del resto del estado, acogieron proyectos muy novedosos, se hizo mucha incidencia en difundir la informática en áreas de conocimiento muy diversas, se promovieron las didácticas en enseñanzas regladas, y sobre todo se desplegaron una serie de actividades que si bien no eran diferentes sí tuvieron unas características novedosas en todos los casos.

En el Centro de Cálculo tuvieron lugar:

- Seminarios.
- Publicaciones.
- Formación de una biblioteca especializada en asuntos informáticos
- Apoyo a la investigación universitaria.
- Exposiciones de arte.
- Gestión del Fondo para IBM para la iniciación y ayuda a la investigación.
- Cursos, coloquios, congresos, simposios y conferencias.

2.3.2. *Publicaciones*

Todo departamento o centro universitario desarrolla publicaciones como forma normal de hacer exégesis de sus investigaciones, las publicaciones suelen ser revistas o monografías, sin embargo, el Centro de Cálculo desarrolló una actividad editora más amplia y variada de lo que cabría esperar:

- Memorias.
- Boletín.
- Catálogos de exposiciones de arte.
- Monografías.
- Actas de congresos.
- Manuales de didáctica informática.
- Anales.
- Cuadernos de Arquitectura.

Memorias

Desde su constitución el Centro de Cálculo tiene similitudes con otros centros promovidos por la Corporación IBM; algunas de sus características son novedosas en Europa, donde en ámbito universitario no era habitual dar noticia de las actividades administrativas desarrolladas, ni se tenía por costumbre rendir cuentas ante la comunidad o ante la sociedad. Las corporaciones norteamericanas editaban habitualmente memorias anuales (*annual report*) en las que se dan conocimiento a accionistas o interesados de su funcionamiento y rentabilidad. Las memorias del Centro de Cálculo tienen cierta similitud a estos *annuals reports* y se publican cuatro hasta 1973, y salvo la primera, todas recogen la información con un índice muy similar. Se da noticia de:

- Patronato y Comité ejecutivo.
- Personal del Centro.
- Equipo electrónico.
- Utilización del equipo: normas y porcentajes.
- Listados de usuarios y trabajos.
- Fondo IBM.
- Cursos, seminarios, conferencias y coloquios.
- Tesis doctorales.
- Biblioteca.
- Publicaciones.

Memoria 1968

Es un librito de dieciocho páginas publicado en noviembre de ese mismo año en las que se informa de la instalación de la máquina, la mayoría de la memoria se dedica a describir las características técnicas de la máquina IBM 7090. Se presenta el Patronato y el Comité ejecutivo, y lo destacable de este comité es la ausencia de representantes de facultades de letras, humanidades o ciencias sociales; es un comité presidido por el presidente del Instituto Politécnico Superior y sus componentes son científicos, matemáticos, estadistas o economistas y el presidente de IBM España.

A partir de lo presente en esta publicación, que es la presentación del Centro, no se podía atisbar que este sería un lugar cuyos resultados de investigación más sorprendentes y reconocidos se darían en los ámbitos de la Lingüística, Bellas Artes, Filosofía, Música o Arquitectura.



Figura 11. Portada de la Memoria de 1968¹⁶.

Memoria noviembre 1968 – julio 1969

Esta publicación recoge las actividades del primer curso académico en que la computadora está presente en la Universidad de Madrid. En su introducción se hace un planteamiento muy similar, pero se incluyen ya referencias a la investigación que se sitúa en los seminarios, en los modelos de simulación didáctica, su aplicación práctica gracias a los acuerdos con el Ministerio de Educación y Ciencia y con algún programa de la UNESCO. Ya se habla de la biblioteca y de las publicaciones como consecuciones importantes. En él se observa ya que las actividades del Centro serían diferentes a lo que se planteó en un principio.

¹⁶ La obra utilizada para ilustrar la portada es una serigrafía de Eusebio Sempere, comprada para decorar los despachos del edificio, no es una obra elaborada con la participación de la IBM 7090.

En esta memoria se da la noticia de la inauguración oficial del Centro, que tiene lugar el 7 de marzo de 1969. Los discursos están a cargo de Alberto Monreal, segundo jerárquicamente del Ministerio de Educación y Ciencia; el director del Centro, Florentino Briones; el Rector de la Universidad el señor Botella Llusía y el director del IBM España, don Fernando de Asúa Sejournat; su discurso es el que más aclara qué se esperaba del Centro, investigación y didáctica alrededor de la informática y formación de profesionales para desarrollar la esperada ingente actividad profesional que esta nueva técnica requería. Asúa remarca que en España será necesario contar en los próximos años con al menos cuarenta mil profesionales de la informática, y para ello se anuncia la creación del Instituto de Informática. Realmente lo que IBM esperaba de la universidad española era, tanto contar con nuevos clientes para sus productos, como que la formación que se desarrollara fuera paralela a los productos que la corporación desarrollara. IBM tenía sus lenguajes de programación propios, sus bibliotecas de *software* y sus arquitecturas de bases de datos que necesitaban personas capaces de manejarlos para que su estrategia comercial tuviera éxito. Sin embargo, la Universidad de Madrid permitió que sucedieran otras cosas, no solo en los primeros años sino incluso en el periodo que va desde 1974 hasta 1982¹⁷, en el que las actividades del Centro se focalizan hacia la informática, las formas y maneras también fueron muy especiales.

¹⁷ Momento en que se cambia el nombre por Centro de Proceso de Datos.



Figura 12. Portada de la Memoria de 1968-69¹⁸.

Memoria agosto 1969 – julio 1970

Estos son los años definitivos de consolidación del Centro como un espacio autónomo y singular en la universidad. Los Seminarios tienen un gran éxito, tanto en el número de participantes, como en la repercusión mediática y se consolidan como el esquema en el que es desarrollada la investigación. En esta memoria se observa el carácter expansivo en asuntos como «promoción del Servicio Nacional Universitario de Cálculo» o «Especialidad de Cálculo Automático de las secciones de Matemáticas y Físicas de la Facultad de Ciencias»; por un lado, se toma las riendas a nivel nacional de la generalización del Cálculo automático en los procesos de investigación y por otro se plantea la adecuación de los planes de estudios referentes a informática en facultades

¹⁸ La obra seleccionada para esta memoria es una de las salidas del programa elaborado ya en el CCUM para la pintura modular de Manuel Barbadillo.

de la Universidad de Madrid. En la introducción de esta publicación se declara (Centro de Cálculo 1970, 5):

La función específica del Centro es la utilización de las nuevas técnicas de cálculo automático en la investigación y en la enseñanza y su impulsión en el ámbito nacional. Hay que notar que, aunque el Centro depende administrativamente de la Universidad de Madrid, sus servicios están abiertos, para tareas no rutinarias, a todos los centros de enseñanza e investigación de España dependientes o reconocidos por la Dirección General de Enseñanza Superior e Investigación. De hecho el 18% del tiempo de cálculo de la 7090 corresponde a trabajos enviados desde provincias. [...] una de las labores a realizar en los próximos años es la creación de una red universitaria de terminales que facilite el intercambio de información entre los distintos centros de investigación y los centros de cálculo.

En la sección «Otros temas de trabajo» se puede ver cómo se ha evolucionado en muy poco tiempo en el manejo de una supercomputadora, se plantean ya el cambio de sistema operativo y la implementación de programas orientados hacia la mayor explotación de las posibilidades de la máquina.

Memoria agosto 1970 – julio 1973

En esta memoria tiene diferencias fundamentales con respecto a las dos anteriores sobre todo en su amplitud temporal, recoge la actividad de tres años, y pierde ese carácter de *annual report*; el Centro no ha tenido la necesidad durante dos años de dar noticia de sus actividades, es una entidad que ha obtenido la aprobación de la universidad, y tiene un esquema de funcionamiento muy consolidado: por un lado da servicio de computación a los diferentes departamentos de ciencias de la Universidad de Madrid, también a los de otras universidades españolas; ha consolidado una didáctica de la informática en las enseñanzas regladas españolas en la universidad y también ha realizado experiencias interesantes en la enseñanza secundaria; y ha ampliado la utilización de la informática en ámbitos como la medicina, la arquitectura o la biblioteconomía españolas por poner ejemplos destacados entre los muchos espacios donde realizó una labor ingente en este sentido. En este momento, en 1973, lo que parece haber llegado al colapso es la estructura de investigación que se planteó en los primeros años, es decir, los seminarios.

La presentación la realiza en esta ocasión el Rector de la Universidad en ese momento, Ángel González Álvarez, y declara que el Centro de Cálculo

está inscrito en las dinámicas universitarias con absoluta normalidad, que sería necesaria una mayor inversión económica y de medios personales y que habiendo realizado las tareas encomendadas se ha de desarrollar una labor de investigación en el campo que es de su competencia, es decir en la informática al servicio de la comunidad universitaria (Centro de Cálculo 1973, 3):

Un Centro de servicio científico a los demás debe también cultivar la propia ciencia del servicio que presta. Pero la ciencia del cálculo solo se cultiva con la investigación y la enseñanza en orden a la formación de la vida universitaria. Las Facultades y Escuelas Técnicas Superiores con sus Departamentos y sus Institutos Universitarios las Escuelas Universitarias y los Colegios Universitarios han sido los beneficiarios de sus servicios.

En este último año es cuando en los boletines desaparecen los seminarios como aspecto principal de las noticias que en ellos acontecen, el Rector incide en la idea de que el ámbito del Centro es el de la «formación de la vida universitaria», no ya las actividades más heterodoxas como la incorporación de la estética computacional o la creatividad en diversos campos.

Por otro lado, se anuncia la ampliación del equipo informático y es reveladora la frase con la que se cierra la presentación: «Solo exige que la Universidad le proporcione los medios que precisa para lanzarse, con éxito asegurado, a sus nuevas singladuras.». La cesión del equipo IBM 7090 por parte de la corporación norteamericana finalizaba en 1973, en este momento esta computadora estaba completamente amortizada y desfasada, la serie IBM 360 la había sustituido y sus prestaciones superaban ampliamente a las de la antigua serie. La Universidad Complutense se había decidido a cambiar la máquina. Los usuarios y las horas de funcionamiento habían aumentado considerablemente. Algunos de los analistas del Centro habían realizado sus tesis doctorales, impartían cursos tanto de sistema operativo IBM como de lenguajes de programación propios de la corporación.

Las actividades del Centro a partir este momento se aglutinan casi totalmente en torno a la informática.

Boletín del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid¹⁹

Aparece por primera vez en diciembre de 1968. Es una publicación sencilla elaborada a ciclostil, que se diseñaba e imprimía por el equipo del Centro.

¹⁹ A partir del número 25 de diciembre de 1974 cambian el nombre y se incluye Complutense, pese a que esa denominación lleva años siendo la oficial de la universidad.

Empezó con unas veinte páginas y en los últimos números de 1973 oscilaba alrededor de las cien páginas. En un principio en estos boletines se recogían, casi como actas notariales, las sesiones de los seminarios; informaban de otras actividades como conferencias y cursos, y a partir del número 7 en diciembre de 1969 se incluyeron también las nuevas incorporaciones a la Biblioteca y una sección de noticias.

Con una maquetación sencilla, la portada recogía el índice y en la parte superior una fotografía de la fachada del edificio de Fisac (que en diciembre de 1974 sería cambiada por imágenes del equipo informático), el nombre completo del Centro y el número y la fecha.

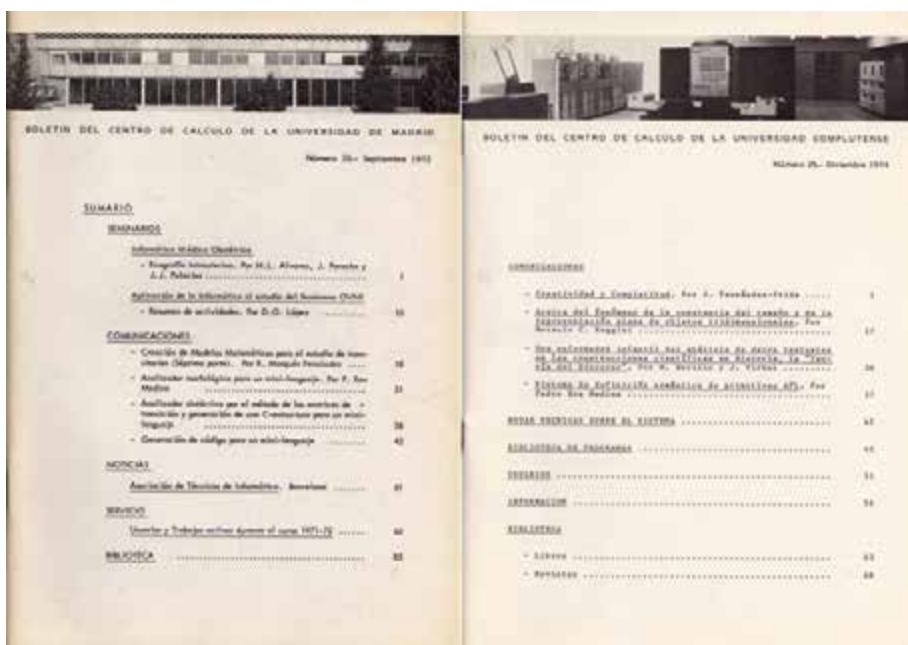


Figura 13. Los dos modelos de portada de los boletines.

Aparece por última vez en diciembre de 1981, cuando ya se habían publicado treinta y nueve boletines. Si bien y como se ha remarcado anteriormente existe una inflexión muy remarcable a partir del número 21 de diciembre de 1972, en el que por última vez aparece el capítulo «Seminarios» en el índice de un boletín, y las aportaciones aparecen organizadas bajo el epígrafe de «Comunicaciones», a partir de este momento no tenemos información sobre las sesiones de los seminarios. Se perdió de esta forma la información sobre cuáles fueron los últimos asuntos abordados en ellos y quiénes acudían a los mismos.

Como se explicita en la presentación del primer número la necesidad planteada por varios de los participantes en los seminarios de darse a conocer y de establecer relaciones a nivel nacional e internacional conlleva la publicación de un boletín mensual (Boletín CCUM, 1, noviembre 1968, 1):

La publicación de un Boletín que sirva para crear esa vinculación (entre participantes y universidad), al tiempo que proporciona un vehículo de información para que en él Universidades y otros núcleos de estudio tengan noticia de nuestras actividades, y los que así lo deseen puedan relacionarse con nosotros

Como acta de las sesiones de los seminarios la estructura de la información se organiza por cada uno de los seminarios, de ellos se informa sobre las sesiones celebradas, datándolas e incluyendo informaciones sobre la estructura organizativa de las mismas, se enumera a los participantes, por orden alfabético, y en el cuerpo de cada entrada se hace una descripción actuarial de lo allí sucedido.

No en todos los números, pero en ocasiones se publicaron artículos escritos por los participantes en los diferentes seminarios, algunos de ellos son aportaciones muy interesantes y novedosas, por lo que supone la incorporación de los ordenadores en las investigaciones en áreas poco frecuentes para el lenguaje matemático. Entre los numerosos artículos, podemos destacar:

- Boletín número 2, enero 1969: José Miguel de Prada Poole, Proposición para la obtención de un criterio de selección para la obra pictórica combinatoria.
- Boletín número 8 – 9, enero 1970: Javier Seguí de la Riva, Áreas automatizadas en Arquitectura; J.L. Gómez Perales, Un intento de sistematización en la creación plástica; Florentino Briones, Pinturas modulares (programa de pintura combinatoria de M. Barbadillo).
- Boletín número 10, febrero 1970: Manolo Quejido, El problema del movimiento enfocado desde la nueva plástica.
- Boletín número 11, abril 1970: Víctor Sánchez Zabala, Sobre algunos supuestos de la lingüística generativa; Abraham A. Moles, La mentalidad coordinadora y la aplicación de los supersignos en estética.
- Boletín número 12, junio 1970: H.W. Franke, Estética cibernética; Ernesto García Camarero, La enseñanza de ordenadores en secundaria; Horacio Vaggione, Obtención de formas musicales a través de la codificación digital de textos.

- Boletín número 13, diciembre 1970: Violeta Demonte, Una aplicación de la gramática de casos; Jorge Sarquis Resumen Metodológico.
- Boletín número 14, marzo 1971: Carlos Sevilla, Andrés Cristóbal Llorente y Guillermo Searle, Teoría de la acción en el diseño arquitectónico, tratamiento automático de un ejemplo de conducta.
- Boletín número 16, junio 1971: Eduardo Polonio, El ordenador bien temperado.
- Boletín número 21, diciembre 1972: Florentino Briones, OP – ART Lineal.
- Boletín número 22, marzo 1973: Ignacio Gómez de Liaño y Guillermo Searle, Pintura y perceptrónica, estudio de transformaciones en pintura.

Una interesante aportación es la de la inclusión de informes, resúmenes de los proyectos de los becarios del Centro obtenidas de las conferencias que los equipos de investigación ofrecían para informar del estado de las mismas.

Monografías, Manuales de Didáctica Informática y Anales

Se editaron once monografías, cinco manuales de informática y unos anales, hasta finales de 1973. De todas ellas cuatro fueron promovidas por el seminario de Arquitectura, otras cuatro por el de Formas Plásticas, dos de Medicina y otros dos sobre ordenadores en la escuela, la lista completa es (Centro de Cálculo, 1973, 83-84):

- *Ordenadores en Medicina – Bibliografía*. 1969 – 108 páginas.
- *Ordenadores en el arte: Generación Automática de formas Plásticas*. 1969 – 102 páginas.
- *Ordenadores en Medicina: Coloquios*. 1969 – 138 páginas.
- *WESCE: Informe sobre sus deliberaciones y recomendaciones*. 1969 – 37 páginas.
- *Formas Computables – Catalogo*. 1969 – 24 páginas.
- *L'Ordinateur et la Creativite: Architecture-Peinture*. 1970 – 132 páginas.
- *Generación Automática de Formas Plásticas – Catalogo*. 1970 – 28 páginas.
- *Cuaderno 1. Seminario de Composición Automática de Espacios Arquitectónicos. Cursos 1968 – 1970* – 288 páginas.
- *Cuaderno 2. S.A. 1 (Seminario Arquitectura)*. 1972 – 223 páginas.
- *Cuaderno 3. Reflexiones en torno al diseño*. 1972 – 138 páginas.

- *Ordenadores en la Escuela Secundaria. Informe de una experiencia.* 1971 – 204+68 páginas.
- *Anales del Coloquio Internacional sobre arquitectura y automática.* 1973 – 255 páginas.

Didáctica de la informática:

- *Fortran IV, 1º parte*, por Florentino Briones. 1969 – 66 páginas.
- *Fortran IV, 2º parte* por Florentino Briones 1969 – 86 páginas.
- *Cálculo Numérico* (3 fascículos) por Florentino Briones.
- *Manual de Informática para niños* por Ernesto García Camarero con la colaboración de A. Sánchez. 1971 – 68 páginas.
- *Una prueba algebraica de los teoremas de Skolen-Lowenheim y Godel* por J. Fernández-Prida. 1973 – 46 páginas.

2.3.3. Apoyo a la investigación universitaria

En el convenio firmado entre la Universidad de Madrid y la Corporación IBM el uso de la computadora 7090 debía de centrarse en investigación universitaria y didáctica de la informática, huyendo de las tareas administrativas rutinarias (elaboración de nóminas, control de expedientes o contabilidad entre otras). Para estos usos rutinarios ya se utilizaban en grandes empresas y en algunas administraciones públicas ordenadores de menor capacidad de procesamiento. Esta era una supercomputadora en estos momentos, si bien la nueva serie que acababa de salir al mercado la superaba, era una herramienta muy potente, y hasta este momento en España no se había utilizado una potencia de cálculo similar.

Aunque se radica en Madrid, se acuerda que desde el principio se dará servicio a toda la Península, de hecho, llega a ser utilizada en algún proyecto enviado desde Portugal. Esto es similar a lo que sucede también en la máquina instalada en Copenhague, que debía de abarcar la actividad de todos los países escandinavos y de Holanda.

Las estadísticas elaboradas en el Centro sobre la utilización de la máquina nos dicen que en el primer año el 71% se utiliza para proyectos de Ciencias, el 13% para actividades propias del Centro de Cálculo (aquí se incluían los procesos devenidos de la actividad de los seminarios), el 8% era para desarrollar los trabajos de los becarios del Fondo IBM, la corporación se reservó un 1% del tiempo de máquina; por especialidades las facultades de Ciencias

copaban el 37%, el 11% las escuelas técnicas, 9% medicina, 5% industriales y el resto se distribuía entre el resto de facultades y las labores del centro; por universidades el 55% Madrid, el 17% Valencia y el 4% Valladolid.

En 1973 había variado la distribución, pero en lo sustancial se mantenía como primer usuario las Ciencias en un 79%; por especialidades Telecomunicaciones tenía mayor presencia; y por universidades son las de Madrid las que hacen un uso casi exclusivo.

Si vemos algunos de los proyectos atendidos algunos resultan como poco muy curiosos, como ejemplo:

- Investigación sobre la actitud de los universitarios ante la Iglesia.
- Diabetes y variaciones de los lípidos del plasma.
- Elaboración automática de bibliografía sobre computadores.
- Dimensionalidad de la religiosidad.
- Encuesta sobre la nueva estructuración de la universidad.
- Estudio de la duración media del periodo fértil de la mujer entre 1850 y 1950.
- Obtención de una serie de palabras greco-latinas de una profecía del Nuevo Testamento.
- Optimización del movimiento de tierras en un Aeropuerto.
- Estudio matemático de las transformaciones del tálamo humano.
- Elaboración automática de exámenes.

Esto son ejemplos singulares de los al menos ciento setenta proyectos que se computaron durante el curso 1968-69. En general su utilización por el profesorado aumenta considerablemente cada curso. Como hemos referido anteriormente, las normas para la utilización del ordenador requerían la autorización tanto de la dirección del Centro como la de un representante, que normalmente era el director o catedrático de algún departamento universitario, lo que garantizaba de alguna forma que los proyectos enviados para los diversos cálculos automáticos o procesamiento de datos estaban en consonancia con las líneas de investigación prioritarias en las facultades españolas.

2.3.4. Formación de una biblioteca especializada en asuntos informáticos

Se planteó su creación desde el inicio del funcionamiento del Centro como apoyo a las actividades que allí se realizaban. Era una biblioteca que se com-

puso en un principio de obras sobre análisis numérico, lenguajes de programación, técnicas de ordenadores, lógica matemática, lenguajes formales, teoría de autómatas, aplicaciones de los ordenadores, educación en proceso de datos o repertorios bibliográficos.

En la actualidad la biblioteca se mantiene con una entidad propia dentro de la Biblioteca de la Facultad de Informática de la Universidad de la Universidad Complutense. (Gállego Rubio y Méndez Aparicio 2007, 6)

La biblioteca se incrementó hasta los casi quinientos volúmenes en solo dos años, y las suscripciones a revistas superaban la treintena de las más prestigiosas publicaciones internacionales. También se hizo el esfuerzo de conseguir de muchas de estas revistas las colecciones completas, lo que incluía tener los números desde la década de los 50, es decir, desde el inicio de la Informática como área de conocimiento.

En 1973 se superaban los mil cien volúmenes y se habían incrementado en catorce el número de revistas suscritas y coleccionadas.

Lo más interesante de esta biblioteca, además de hecho de conseguir ejemplares en la actualidad imposibles de obtener, es que se constituía como el estado de la cuestión, como una foto fija de la tecnología informática de aquel momento, una valoración de las entidades que publicaban en todo el mundo; recoge todo lo que era significativo en aquel momento, cuestiones que hoy han sido olvidadas, líneas de investigación que acabaron en puntos muertos, técnicas abandonadas, y se puede observar cómo emergen unos caminos sobre otros; en aquel momento la informática era una disciplina en vías de desarrollo, podría no haber llegado a nuestros días.

2.3.5. *Exposiciones de arte*

En los catálogos de las exposiciones que se produjeron en el Centro de Cálculo podemos encontrar gran parte de lo que se consiguió realizar en el mismo. En estas exposiciones se mostraba aquello que podía ser materializado, lo que pasaba de la idea al objeto o la imagen.

Mario Fernández Barberá fue el encargado de organizar y comisariar las exposiciones que surgieron de la actividad del Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas; había tenido relación muy estrecha con artistas nacionales e internacionales, poseía una razonable colección de arte, que continuó ampliando toda su vida, había organizado exposiciones y llegó a gestionar una galería de arte muy *sui géneris* en Ibiza. Solo una tuvo lugar en las instalacio-

nes del edificio del propio centro *Formas computables* (1969). La siguiente, *Formas computadas* (1971), tuvo lugar en la Sala de Exposiciones del Ateneo de Madrid, ambas contaron con catálogos editados por el CCUM. En marzo y abril de 1971 tuvo lugar la exposición *The computer assisted art* en el Palacio Nacional de Congresos con ocasión del 8th *European System Engineering Symposium* organizado por IBM, con una selección de trabajos de participantes en el seminario y con un dispositivo de exhibición creado por Isidoro Valcárcel Medina, en la que participan: Alexanco, Gerardo Delgado, Teresa Eguibar, Lorenzo Frechilla, Tomás García, Lugan, Abel Martín, Gómez Perales, Manuel Quejido, Enrique Salamanca, Ana Buenaventura y Javier Seguí, Eusebio Sempere, Soledad Sevilla y José María Yturralde. Y al año siguiente, en 1972, en colaboración con el Instituto Alemán de Cultura de Madrid y la empresa alemana Siemens se organizó en la sala del Instituto Alemán la muestra *Impulsos, Arte y Computador*, que recogía una amplia muestra de lo que se denominaba *computer graphics* internacional.

En Londres en el verano de 1968, prácticamente coincidiendo con la puesta en marcha del Centro de Cálculo se inauguró *Cybernetic Serendipity*, la exposición fundacional de la relación Arte y ordenadores comisariada por Jasia Reichardt, que se exhibió en el Instituto de Arte Contemporáneo de Londres, y luego por diferentes museos de Estados Unidos. Ignacio Gómez de Liaño estuvo presente en la inauguración del 2 de agosto, y trajo a España el catálogo. Solo un año después el CCUM iniciaba su actividad expositiva.

Las obras expuestas variaron en su idiosincrasia en muy poco tiempo. En los primeros momentos el ordenador realizaba cálculos y ofrecía posibles modelos de los que el artista seleccionaba aquello que se acercaba más a su baremo estético. Las salidas de impresora eran muy rudimentarias, las formas se dibujaban con caracteres fijos, más adelante se utilizó el *plotter* que permitía dibujar líneas; los artistas basándose en estas impresiones dibujaban, recortaban o serigrafiaban sus obras con técnicas tradicionales. En poco tiempo se asumió la idea de que el proceso era parte de la obra y se añadieron a la misma los análisis, las pruebas, los programas o las salidas impresas, de hecho lo que se llevó a los Encuentros de Pamplona no eran tanto obras finales sino que se mostró la forma en que se trabajaba, se llevaron obras de artistas plásticos pero también de filósofos o arquitectos, la *poiesis* se amplió, no solo conceptualmente, sino también admitiendo que la formalización de la idea tiene una fases que han de ser mostradas para la asimilación por parte del espectador del hecho cultural.

Formas computables se planteó como actividad de clausura del Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas del curso 1968-69. Se inauguró

el 2 de junio de 1969 y contó con obras de Alexanco, Amador, Elena Asíns, Barbadillo, Equipo 57, Tomás García, Lily Greenham, Lugan, Quejido, Abel Martín, Mondrian, Eduardo Sanz, Javier Seguí, Soledad Sevilla, Sempere, Vasarely y José María Yturralde, casi todos ellos participantes del seminario. Se tomaron obras de Vasarely y Mondrian como antecedentes internacionales, el caso de Vasarely por su amistad con Eusebio Sempere y el de Mondrian porque había sido utilizado como ejemplo y objeto de análisis en muchas de las sesiones; el caso del Equipo 57 era un antecedente patrio de la práctica artística más heterodoxa, de estos artistas cedió obra la Galería Juana Mordó. De entre todos los artistas, las obras desarrolladas con asistencia del IBM 7090 fueron las de Yturralde, Barbadillo y Sempere, las del resto de artistas eran planteamientos iniciales de proyectos que se desarrollarían más adelante en el Centro. El planteamiento creativo, como se verá más adelante en el capítulo de los seminarios; era diverso según el artista, por un lado, existía la posibilidad de generar obra basándose en combinatoria modular, o generar imágenes inspirándose en teoremas, series numéricas o cálculos matemáticos, series numéricas o cálculos matemáticos, así como la aplicación del cálculo a las posibilidades sintácticas basadas en las nuevas teorías de las gramáticas generativas.



Figura 14. Exposición Formas Computables.

En el catálogo publicado hay un interesante cuadro sintáctico de cual es la evolución estética y conceptual de cada uno de los artistas hasta llegar a la estética computacional que les reúne en la exposición (Centro de Cálculo 1970b, 6-9).

Hay que matizar que la producción de las obras plásticas del Centro de Cálculo no se materializaba por el propio ordenador. Las salidas impresas en un principio eran hechas por una impresora matricial, es decir, no era un dispositivo que daba una obra acabada, sino que cada artista aprobaba una de las posibles obras que los programas generaban de forma automática y las realizaba manualmente en su taller.

Formalmente, la obra presentada en esta exposición era abstracción geométrica. Una de las propuestas más interesantes era la de Sempere, una maqueta del proyecto de aproximadamente 35 cm de altura, era una escultura móvil que añadiría a la propuesta plástica de Sempere la poesía de Julio Campal y la música de Cristóbal Halfter. Fue un encargo de IBM España para ubicarla en la entrada de su nueva sede.

Formas computadas ya presenta una serie de trabajos realizados íntegramente en el Centro, obras de Alexanco, Gerardo Delgado, Tomás García, Gómez Perales, Lugan, Abel Martín, Manolo Quejido, Enrique Salamanca, Javier Seguí, Sempere, Soledad Sevilla y José María Yturralde.



Figura 15. Exposición Formas computadas.

Esta exposición se realiza fuera de edificio de Fisac, en mayo de 1971, en este momento el coordinador del seminario es Ignacio Gómez de Liaño y el texto introductorio del catálogo lo escribe Florentino Briones. Resulta muy interesante comprobar que después de unos años las cuestiones que se plantean sobre el papel de los ordenadores en el arte están muy centradas. El ordenador ha pasado de ser un tótem sobre el que rueda la actividad creativa a una herramienta en manos del artista, herramienta aún compleja de usar, difícil de gestionar pero que ocupa un espacio más técnico que conceptual en la producción artística. En el texto de Briones aparece un pequeño ejemplo de cómo un programa escrito en Fortran IV dibujaría una circunferencia. Es muy clarificador para conocer el papel que en estos momentos tiene el artista y el analista informático en la autoría de la obra (Carrillo Santana 2007, 118). Plantea también la cuestión de incluir el proceso de investigación, análisis y desarrollo técnico como parte alícuota de la obra, proceso que incluye partes que elaboran diferentes personas.



Figura 16. Exposición Formas computadas.

En el catálogo se incluye de cada obra una breve descripción del planteamiento conceptual previo (Centro de Cálculo 1971).

El *Autorretrato* de Eusebio Sempere es una de las obras más complejas conceptualmente, parte de la idea de generar una representación de un rostro a través de una malla. Se aplica la fórmula de la gravitación universal a cada una de las intersecciones de la malla, el origen es una fotografía en

blanco y negro, los puntos oscuros generan mayor gravedad y atraen a otras intersecciones e inversamente hacia lo claro. Gracias a ello se consigue una obra que mantiene una similitud con el original y posee una potencia visual notable.

La obra de Manolo Quejido aborda los procesos de transformación que supone el movimiento de las formas. *Secuencias* según describe el catálogo de 1971 son: «series de imágenes pertenecientes a un proceso de transformaciones lineales operadas en una retícula fija de trayectorias sobre las que se desplazan los círculos desde sus posiciones iniciales con velocidades prefijadas [...] realiza secuencias cortas, indicadoras globales de los movimientos, que deben de ser sintetizados por el espectador ante una sola visión estática de ellos».

José María Yturralde crea figuras imposibles que simulan una tercera dimensión a partir de figuras planas; surgen gracias a la posibilidad combinatoria de los vértices de las figuras geométricas, se muestran todas las combinaciones posibles y las que no lo son gracias a los cálculos del ordenador; de la elección y suma de los posibles vértices surgen las figuras imposibles.

La utilización de la Banda de Moebius por parte de Enrique Salamanca le permite la creación de modelos de tres dimensiones.

Barbadillo planteó las posibilidades de la pintura modular, aunque, curiosamente este autor no participa en la muestra.

Soledad Sevilla mostró un proyecto basado en las posibilidades combinatorias de los módulos en conjunción a las reglas de las leyes rítmicas.

Los módulos permiten dotar de ciertas características de los procesos industriales a la producción pictórica, esto es, producir una gran cantidad de obras a un bajo coste, Gómez Perales es el primero que recae en esta cuestión y propone la creación de infinitas obras salidas del ordenador gracias a la combinación y ajuste de figuras creadas con las proporciones de las cinco primeras cifras de la serie de Fibonacci.

La obra de Gerardo Delgado también es modular, y propone al espectador unas reglas muy restrictivas y les proporciona módulos con los que construir la obra.

Ana Buenaventura y Javier Seguí se plantean ir vaciando, partiendo de una matriz arbitraria de círculos, e ir eliminando aleatoriamente elementos hasta conseguir una composición en tensión.

El color es el asunto que Tomás García había tratado como aportaciones teóricas en los seminarios y aplica el tratamiento del color al cálculo con ordenador.

El proyecto MOVNT de José Luis Alexanco es un interactivo que a través de una interface proporcionada por el propio artista genera movimiento en figuras a las que se va transformando cada vez que se cambia un parámetro. Estaba diseñado para que la representación fuera a través de la pantalla, pero la tecnología del momento no permitía tal interacción y lo que generaba eran salidas de impresora que representaban diversas capas estratigráficas con las que se componían esculturas que se insertaban en un volumen máximo de 15 x 15 cm. El proceso era muy manual, el artista dibujaba sobre metacrilato las formas y las recortaba con sierra, luego las pegaba manualmente hasta componer una figura.

El caso de Lujan era diferente al resto de los artistas, a él no le interesaba las posibilidades del cálculo de los computadores, sino los computadores en sí mismos, las piezas, los desechos, y gracias a sus conocimientos de electrónica daba una nueva vida y funcionalidad a componentes de ordenadores en desuso.



Figura 17. Obra de Tomás García Asensio. Exposición en la Galería José de la Mano en Madrid.



Figura 18. Obra de Enrique Salamanca en la exposición *Pseudodimensión y misterio: Enrique Salamanca en el Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid [circa los años setenta]*, Galería José de la Mano, abril – junio 2014.

Participación en los Encuentros de Pamplona

Los Encuentros de Pamplona tuvieron lugar entre el 26 de junio y el 3 de julio de 1972, y supusieron un hito cultural de difícil explicación en el panorama español. No vamos a hablar de los Encuentros, pero sí de la participación del CCUM en ellos.



Figura 19. Exposición en los Encuentros de Pamplona.

La participación se concretó en una exposición comisariada por Mario Fernández Barberá e instalada en los bajos del Hotel Tres Reyes en la Sala Akelarre. La característica más destacada de esta exposición era que no mostraba simplemente el producto de algunos proyectos de investigación artística desarrollados con la ayuda de la computadora, sino que mostraba el proceso de investigación, la forma de trabajo, la evolución de los resultados, la convergencia entre los procesos matemáticos y los artísticos y creativos.



Figura 20. Cartel anunciador de la exposición.

Una versión reducida de la computadora, más impresoras, *plotter*, perforadora de fichas, mostraban al público como era en 1972 la síntesis de arte y ordenador. De las impresoras y el *plotter* salían durante en tiempo real obras de artistas como Manuel Barbadillo, Gerardo Delgado o Ignacio Gómez de Liaño. Se mostraba cómo era el proceso de trabajo en el Centro, cómo se desarrollaba un proyecto desde que se hacía la primera propuesta artística, el análisis informático, la codificación y la implementación computacional. En la muestra se exhibían tanto trabajos que surgían de iniciativas personales de artistas plásticos como la labor de equipo en la que se analizaba la obra de determinados artistas susceptibles de ser algoritmizadas y estudiadas en base a un lenguaje matemático. También las investigaciones sobre cómo puede una computadora ayudar a un artista en la gestión en su obra de conceptos tan variados como el color, las formas plásticas, la combinatoria o las propiedades de los números. Así como la posibilidad de generación de programas de análisis estético.

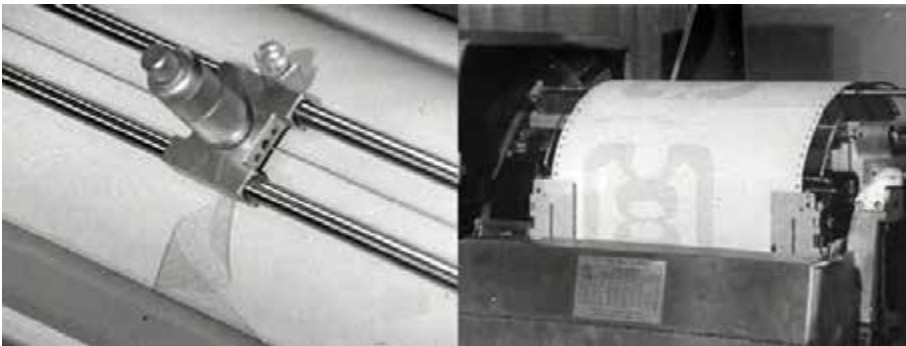


Figura 21. La obra de la derecha es de Manuel Barbadillo, el *graphic computer* de la izquierda no está identificado.

Por otro lado, cabe destacar que las dos personas que dirigieron estos encuentros, Luis de Pablo y José Luis Alexanco, eran asistentes asiduos a los seminarios del Centro de Cálculo, y que muchos de los participantes o encargados de secciones también lo eran.



Figura 22. Operador en la Exposición Encuentros de Pamplona.

2.3.6. La gestión del Fondo IBM para la iniciación y ayuda a la investigación

En el convenio entre la Universidad de Madrid y la Corporación IBM se especifica que se creará un Fondo de tres millones de pesetas anuales (18000 €) para becas e investigación en ramas de la computación.

Como quiera que IBM tenía mucho interés en promover la formación en informática en la universidad española, y en concreto en la de Madrid, estableció unas líneas maestras que debían desarrollarse en el Centro de Cálculo. Los cursos y seminarios versarían sobre:

- Preparación del personal en programación y análisis de sistemas.
- Técnicas de proceso de datos.

- Estrategias para encarar problemas desde el punto de vista de las técnicas automáticas.
- Apoyo a la investigación universitaria y al descubrimiento de nuevas aplicaciones y métodos.

Para favorecer el crecimiento del número de estudiantes, profesores e investigadores que se dedicara o aprendieran informática se estableció una serie de becas con cargo a este fondo anual.

Estas becas se organizan en las siguientes categorías (Centro de Cálculo 1969, 35-39):

- *Becas para la asistencia a cursos de programación.* Destinadas a profesores universitarios o de escuelas técnicas. Son cursos programados anualmente sobre el lenguaje de programación Fortran IV (el lenguaje propio de IBM), y en las bases se indica que «por ser (este lenguaje) de interés más general». Cubren gastos de desplazamiento al Centro de Cálculo desde el resto del estado. Se concede los gastos de viaje y para la estancia ocho mil pesetas (48 €).
- *Becas para estudiantes.* Se convocan a dos niveles: iniciación a la investigación (bajo la supervisión de un profesor universitarios), trabajos de licenciatura y proyectos de fin de carrera. Dotadas con cinco mil pesetas (30 €) mensuales en diez mensualidades.
- *Especialización en Ciencias de la Computación* (bajo la supervisión de un analista del CCUM).
- *Becas para la realización de la tesis doctoral.* Cien mil pesetas (600 €).
- *Becas para graduados para la realización de monografías* sobre temas propuestos por el Centro, su cuantía era de veinticinco mil pesetas (150 €).
- *Becas para la investigación en grupo.* Son de trescientas mil pesetas (1800 €) grupos de un mínimo de tres personas, dos al menos profesores. Los trabajos becados debían versar sobre: desarrollo de sistemas de programas; lenguajes informáticos específicos; teorías de autómatas, información, algoritmos, aprendizaje, reconocimiento de formas y sistemas formales.

2.3.7. *Cursos, coloquios, simposios y conferencias*

La lista de actividades didácticas, de reuniones científicas, de congresos, conferencias y coloquios realizados en el Centro de Cálculo es amplísima.

En el pliego de condiciones para el concurso arquitectónico de la construcción del edificio que albergaría la computadora IBM ya aparecía una sala de conferencias y diversas dependencias para albergar reuniones científicas. En los años que analizamos desde 1968 a 1973 la actividad es frenética, además de las reuniones periódicas de los seminarios, desde la propia actividad de estos se generaban actividades para completar la formación de los participantes (Centro de Cálculo, 1969; Centro de Cálculo, 1970; Centro de Cálculo, 1973).

Cursos

El personal del Centro de Cálculo, aquellos que tenían unos conocimientos más sólidos en lenguajes de programación como Fortran IV, Cobol o RPG, impartían cursos tanto para los propios empleados como para profesores universitarios, alumnos, becarios del Fondo IBM y también para participantes en los seminarios. A estos cursos de programación acudieron artistas, arquitectos o músicos, en muchos casos la impotencia por un aprendizaje tan complejo producía incomodidad, en el caso de los artistas solo José Luis Alexanco consiguió aprender Fortran IV y programarse sus proyectos.

Más adelante se añadieron cursos sobre teoría de autómatas, método de regresión, teoría de la decibilidad o MAP. Y también se impartieron en facultades de la Universidad de Madrid y en otras universidades españolas.

Y cursos impartidos por profesorado ajeno al Centro, entre los que cabe destacar: *Estética cibernética* por Ignacio Gómez de Liaño, *Análisis sintáctico de lenguajes no dependientes del Contexto* por J.C. Boussard de la Universidad de Grenoble.

Estos cursos suponían un aprendizaje técnico que hasta ese momento ofrecía IBM España y supusieron la reflexión sobre contenidos curriculares que más tarde sería el germen de las asignaturas de informática en las facultades de Matemáticas y Ciencias y más tarde en la constitución de un Instituto de Informática y al fin una Facultad.

Coloquios

Desde el primer curso se organizaron coloquios, en 1969 el de *Algunas aplicaciones de los Ordenadores en Medicina*, celebrado el 27 y 28 de marzo y *Ordenadores en el Arte* los días 25 al 30 de junio. De estos dos coloquios se

publicaron las actas, en un principio suponía una exégesis muy necesaria debido al poco desarrollo que tenía la informática en España en esos momentos.

El 9 de abril de 1970 IBM Francia en colaboración con el Centro de Cálculo organizó el coloquio *L'Ordinateur et la créativité*, en el que participaron Briones, Barberá y García Camarero.

Del 23 al 26 de junio de ese año como cierre del curso del Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas en el que algunos de los participantes del seminario presentaron los proyectos que estaban desarrollando, con la participación añadida de Alan Sutcliffe, miembro fundador en 1968 de la *Computer Arts Society* de Londres, que impartió una conferencia sobre el germen y desarrollo de la CAS, y de Herbert W. Franke cuyo título de ponencia fue *Gráficos por computador y estética cibernética*.

En octubre de 1970 tuvo lugar en el Coloquio Hispano-Francés sobre *La informática y las ciencias de la tierra* y especialmente relevante fue la organización del *Coloquio Internacional sobre arquitectura y automática*.

A partir de este año no se organizaron nuevos coloquios en el Centro de Cálculo, pero los integrantes de la dirección y algunos participantes en los seminarios fueron invitados a todo tipo de eventos internacionales, lo que daba referencia de la dimensión internacional que había adquirido.

Conferencias

Las conferencias especializadas fueron en un principio iniciativas que partían de las necesidades de ampliar conocimientos en los Seminarios. Cuando se detectaba una carencia formativa que no podía ser atendida con los profesionales propios se recurría a expertos externos; por otro lado, los becados del Centro presentaban las conclusiones o los avances de sus investigaciones en conferencias, estaban abiertas al público en general y su interés radicaba en que muchas de ellas hablaban de forma extensa los planteamientos metodológicos.

Con el tiempo las conferencias se consolidan como una actividad habitual y recurrente.

Durante el primer curso el de 1968-69 se presentaron veinticinco conferencias, de las cuales solo dos, la pronunciada por Manuel Barbadillo *Pintura y ordenadores* el 12 de febrero y la de Javier Seguí *Composición arquitectónica automática* el 18 del mismo mes fueron de temática no científica o matemática.

En el curso siguiente se reducen a la mitad el número de conferencias, pero casi todas ellas son impartidas por especialistas internacionales, las primeras las imparte el 21 y el 23 de noviembre de 1969 Bernard Vauquois, director del Centro de traducción automática de la Universidad de Grenoble, al que sigue R. Moreau director científico de IBM Francia, las dos que pronuncia Abraham Moles el 12 de enero de 1970 *Definición Heurística de la Imagen Cinematográfica y Teoría de signos y supersignos*. Los profesores M.G. Vellion de la Universidad de Grenoble; H. Scolnik, economista de la Universidad de Zurich; F. Serbanescu de Pisa; H.Cicielo de la Universidad de Waterloo.

Y para cerrar el año el 28 de mayo conferencia en el salón de actos del CCUM de Nicolás Negroyponte sobre *Arquitectura y Máquinas*

En los años siguientes las conferencias puntuales dejan de tener el carácter formativo inicial y son los propios asistentes a los seminarios los que se encargan de formar a sus compañeros con lecciones magistrales durante las sesiones que quedan recogidas en los Boletines.

Colaboraciones

Cabe destacar la fructífera colaboración con el Instituto Alemán de Madrid y uno de los momentos más brillantes lo constituyó el evento Impulsos: arte y ordenador 22 de febrero 14 de marzo 1972 en el que además de la exposición anteriormente referida tuvieron lugar proyecciones, audiciones, conferencias y demostraciones. En este caso el socio tecnológico fue la empresa alemana Siemens.

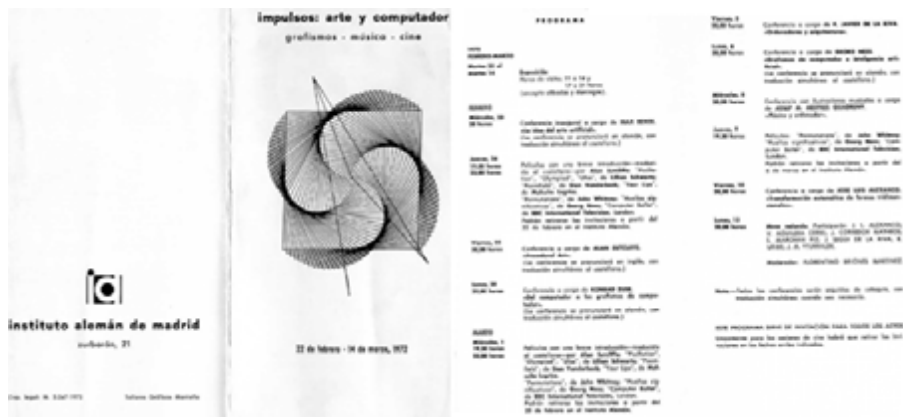


Figura 23. Folleto del evento *Impulsos: arte y ordenador*.

2.4. De qué se hablaba en los Seminarios

En el Centro de Cálculo desde el inicio del curso 1968-69 comenzaron a celebrarse diversos seminarios en los que se analizarían las diferentes aplicaciones de la computación a tareas humanas. En la presentación de su publicación más representativa, los Boletines, declara García Camarero (Boletín CCUM, 1, diciembre 1968, 1).

Nos ha parecido de especial importancia impulsar el estudio de la posibilidad de automatizar procesos de investigación y análisis, en campos en los que hasta ahora esta automatización no ha penetrado. Con ello no pretendemos reducir toda actividad intelectual, científica o artística, a puro mecanicismo, pero sí desglosar esa actividad en un aspecto puramente creador.

En un principio se planteó poner en marcha los siguientes seminarios: *Teoría de máquinas lógicas*, *Lingüística matemática*, *Valoración del aprendizaje*, *Ordenación de la documentación*, *Composición Automática de Espacios Arquitectónicos*, *Ordenación de la construcción* y *Generación de Formas Plásticas*. Así como una serie de seminarios internos destinados a la formación del personal propio que versarían sobre: Principios de operación del 7090, Lenguajes de programación MAP, COBOL, ALGOL, GPSS y sobre el sistema operativo de la computadora.

Los seminarios que tuvieron lugar en el Centro de Cálculo en un primer momento fueron el de *Valoración del aprendizaje*, *Composición de Espacios Arquitectónicos*, *Lingüística Matemática*, *Generación (Automática) de Formas Plásticas* y *Ordenación de la Construcción*²⁰.

En el Boletín número de 21 de diciembre de 1972 aparece por última vez el concepto de Seminario y se da información sobre el de Planes de Estudios Universitarios en Informática y sobre el de Análisis y Generación de Formas Plásticas. En el siguiente número de marzo de 1973 y a continuación los artículos se organizan bajo el epígrafe de comunicaciones. Y a partir del cambio de dirección en 1974 el Centro de Cálculo entra en una nueva fase en la que vuelca sus esfuerzos en una corriente más científica y de menor experimentación en los campos de las humanidades, ciencias sociales, bellas artes o filosofía. No hay noticia de los seminarios

²⁰ Estos son los cinco seminarios de los que se da noticia en el primer Boletín del CCUM de diciembre de 1968

que se fueron transformando en cursos más o menos amplios con una concepción más didáctica.

No todos los seminarios tuvieron una actividad continuada, ni todos dieron resultados de un nivel de excelencia similar. Los seminarios que constituyeron el núcleo de experimentación más interesante fueron los de *Lingüística Matemática*, *Arquitectura*, *Generación de Formas Plásticas* y *Música*. Hay que remarcar también la importancia de los que tuvieron un carácter más didáctico como exégesis de la idea de que la informática habría de formar parte de la vida cotidiana y que era necesario formar a la sociedad española para no tener una nueva brecha tecnológica con el resto de los países de nuestra orbe; estos fueron el de *Enseñanzas Secundarias*, *Valoración del Aprendizaje y el de Planes de estudios universitarios en Informática*, que supuso de hecho la base teórica para el diseño de los contenidos curriculares de las primeras Facultades de Informática del país.

Lo más destacable del conjunto de seminarios fue la implantación de una forma nueva de investigación caracterizada por la interdisciplinariedad, la ausencia de jerarquías, la experimentación como motor, y sobre todo poner de manifiesto la necesidad de crear nuevas vías para la transmisión del conocimiento.



Figura 24. Primera reunión del Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas el 18 de diciembre de 1968. Eduardo Delgado, Irene Fernández Florez, Abel Martín, Eusebio Sempere, Manuel Barbadillo, José M^a Yturralde, Aguilera Cerní, Guillermo Searle, Ernesto García Camarero, Fernando Álvarez Cienfuegos, Mario Fernández Barberá, A. García Quijada, Isidro Ramos, Soledad Sevilla Portillo, José Miguel de la Prada Poole, Manuel Casas Gómez, Javier Seguí de la Riva.

2.4.1. *De cómo surge la idea de realizar seminarios*

Los seminarios sobre técnicas y didáctica de la informática eran una práctica habitual en los Centros que IBM promovía en las universidades donde se instalaban computadoras cedidas o promocionadas por la compañía. Lo singular de los que tuvieron lugar en Madrid era que sus contenidos superaron las premisas con las que se originaban. En general, en Pisa, Londres o Copenhague se trataban de cursos más o menos reglados sobre lenguajes de programación o sobre el funcionamiento de los sistemas operativos y en algún caso sobre aplicaciones de la informática a campos concretos y siempre presumibles, como podía ser la medicina, la administración pública, o la organización de tareas en diferentes campos de la gran industria.

En el documento de *Partecipazione della IBM Italia alla vita dell'università italiana* (IBM Italia, 2019) se relacionan los cursos que se imparten promovidos por la corporación. Tienen diferencias sustanciales con los de Madrid, en primer lugar son cursos impartidos por personal de IBM, y tratan sobre los siguientes asuntos: descripción de los medios mecanográficos y de sistemas para la elaboración de datos; técnicas de programación; problemas matemáticos conectados con el uso de ordenadores: el análisis numérico; uso de ordenadores en la resolución de problemas administrativos, contables, de ingeniería, de química, de física, de estadística, etc.; técnicas avanzadas: búsquedas operativas, documentación automática, etc.; equipos especiales: control de los procesos en tiempo real, transmisión de datos a distancia, lectores directos de documentos. Los asuntos tratados en estos cursos son los que cabía esperar que fueran los que se impartiesen también en España.

En Madrid, el seminario que marcó la senda fue el de arquitectura. Javier Seguí de la Riva, joven profesor de la Escuela Superior de Arquitectura y Guillermo Searle, estudiante en esos momentos, habían acudido a cursos en la sede de la IBM. Mario Fernández Barberá les sugirió que podían continuar su formación en el nuevo Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid donde plantearon sus expectativas sobre la formación a desarrollar con una vertiente que podría situarse entre la más práctica que se impartía en IBM y por otra parte ir más allá de lo que eran las enseñanzas regladas de la universidad española. La conjunción de personalidades innovadoras que se formó a partir del núcleo formado por Ernesto García Camarero (subdirector del CCUM), Mario Barberá (representante de IBM en el Centro) y Florentino Briones (director del CCUM), que eran la cúpula jerárquica del Centro, posibilitó que los seminarios tuvieran un carácter de innovación e investigación singular.

Varios hechos marcaron el carácter de estos seminarios, por una parte la temprana incorporación de las artes plásticas en las dinámicas del Centro, y por otra también fue clave la incorporación de filósofos y lingüistas, y algo que resultó crucial fue el interés generalizado de los participantes en cada seminario por las actividades que se desarrollaban en los otros. Así vemos que desde muy pronto arquitectos participan en los seminarios de lingüística, artes o música y viceversa, este hecho, promovió el trasvase de método, ideas y formas de unos a otros.

Aunque el Centro de Cálculo fue mucho más que el *Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas*, este fue desde el principio el que mayor visibilidad otorgó al Centro, fue el que focalizó más que el resto la atención de medios de comunicación, también por el que fueron invitados a un mayor número de encuentros internacionales y el que marcó más al resto, ya que vemos cómo otros seminarios con el paso del tiempo modifican su nombre y acaban siendo «Seminario de Generación Automática de...». Sin menoscabar el interés del resto de seminarios la aplicación de los ordenadores al arte ha mantenido hasta hoy el interés de muchos investigadores.

A partir de noviembre de 1969 cuando se inicia el segundo curso de seminarios, se hacen coincidir con los cursos académicos, Ernesto García Camarero es el encargado de los Seminarios, y además se nombran algunos coordinadores:

- Generación de Formas Plásticas: Ignacio Gómez de Liaño.
- Ordenadores en la Enseñanza Secundaria: S. Montero.
- Composición de espacios arquitectónicos: Javier Seguí de la Riva, más adelante continúa la labor Jorge Sarquis.
- Autómatas adaptativos: José Mira.
- Lingüística matemática: Víctor Sánchez de Zavala.

Estos coordinadores imprimieron un carácter más innovador si cabe a cada uno de los seminarios, incorporando las últimas corrientes internacionales de pensamiento en ellos. Como comenta Carlos Piera, participante en el seminario de lingüística, la máquina nunca fue una herramienta importante en sí misma, en los seminarios se indagaba sobre sus posibilidades o sobre las posibilidades de la propia lingüística, arquitectura o arte; enmarcando las actividades de cada seminario no tanto en lo computacional como en lo moderno, post-moderno o actual de ese momento histórico tan relevante en Europa: 1968-73.

2.4.2. *Qué asuntos se abordaron en cada seminario*

El desarrollo de los seminarios estuvo a cargo de Ernesto García Camarero, fue una encomienda fundamental del director Florentino Briones que tras su experiencia en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE, observó como varias universidades europeas organizaban algunos proyectos de investigación con el modelo de seminarios y siguiendo las prácticas habituales que IBM había indicado en el convenio con la universidad otorgó al desarrollo de estos un espacio fundamental en el funcionamiento del Centro. Se ha de tener en cuenta que la informática apenas acababa de nacer y era necesario por un lado ampliar el número de profesionales que pudieran desarrollar actividad; y por otro ampliar el ámbito que ofrecía como apoyo a cualquier investigación en cualquier área de conocimiento.

Según se recoge en los Boletines del CCUM la lista completa de seminarios es la siguiente:

- Composición de espacios arquitectónicos. 1968-72.
- Valoración del aprendizaje. 1968-69.
- Ordenación de la construcción. 1968-69.
- Lingüística matemática. 1968-71.
- Generación de Formas Plásticas. 1968-74.
- Enseñanza de ordenadores en secundaria. 1969-71.
- Autómatas adaptativos. 1969-71.
- Música. 1970-74²¹.
- Enseñanza programada asistida por ordenador. 1970-71.
- Proceso (tratamiento) de información médico-sanitaria. 1970-71.
- Aproximación de funciones 1970-71.
- Compilación. 1970-71²².
- Modelos para (simulación) de sistemas educativos. 1970-73.
- Información (diagnóstico) médica obstétrica. 1971-72.
- Planes de estudios universitarios en Informática. 1972.
- Aplicación de la informática al estudio del fenómeno OVNI. 1972.

²¹ A partir de 1974 tuvo una segunda edición, pero ya fuera de la organización del Centro de Cálculo.

²² Tanto el Seminario de Compilación como el de Aproximación de funciones no aparecen en los Boletines CCUM pero sí en las memorias.

En un principio García Camarero acudía a todos los seminarios, y era el nexo de unión conceptual y metodológico de los mismos. A partir del momento en que cada uno de los seminarios, sobre todos los más dinámicos, *Arquitectura*, *Lingüística* y *Formas plásticas* tuvieron un coordinador, estos y los propios participantes marcaron el carácter de cada uno de ellos. Entre estos tres seminarios y más adelante en el de *Música*, que coordinó Eduardo Polonio, se intercambiaron ideas, método y colaboradores. Realmente gran parte de la brillantez de los resultados vino determinada por la ósmosis que entre ellos se dio. La experimentación que se había dado en diversos colectivos durante toda la década de los 60 del siglo pasado significó un deshacer las fronteras entre las prácticas artísticas, literarias o humanistas; se practicó una creación transversal, experiencias como la de la *Cooperativa de Creación Artística y Artesana*, cuyos miembros, a partir de la incorporación de Ignacio Gómez de Liaño al seminario de *Generación Automática de Formas Plásticas* como coordinador del mismo, iniciaron su participación en diversos seminarios, es el caso de: Manolo Quejido, Elena Asins, Lugan o Herminio Molero entre otros.

La gramática generativa de Noah Chomsky, que fue norte en el *Seminario de Lingüística* se coló en el resto; la filosofía de Wittgenstein aparecía en otros; el psicoanálisis llegó a la arquitectura y la gramática, la combinatoria o el número áureo a la pintura. En esta publicación se analizan ampliamente el flujo de ideas que desde todas las partes del mundo llegaron a Madrid desde el nuevo espacio que se había creado con la incorporación de los ordenadores a la actividad humana.

De este fluir, del intercambio de intereses, de la curiosidad general, de la generosidad al compartir conocimientos y del deseo de estar, simplemente estar allí donde sucedían cosas interesantes, surgió la excelencia; el Centro de Cálculo se constituyó en el catalizador de la creatividad de muchos, supuso un gran paso en las formas y metodologías creativas del último cuarto del siglo XX en España.

La primera reunión de un seminario tuvo lugar el 13 de noviembre de 1968, y fue el:

Seminario de Composición de Espacios Arquitectónicos con ordenadores²³

Javier Seguí de la Riba y Guillermo Searle, profesor y estudiante en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid²⁴, habían acudido a unos cursos de

²³ Más tarde pasó a denominarse *Análisis y generación automática de formas arquitectónicas*.

²⁴ En el inicio del Centro de Cálculo la ETSAM formaba parte del Instituto Politécnico de Madrid, en 1971 pasó a ser la Universidad Politécnica de Madrid.

programación que se impartían en la sede de IBM España. Allí Mario Barberá les habló de la inminente puesta en marcha del Centro de Cálculo en la Universidad de Madrid y de la posibilidad de continuar en él su formación informática. Este seminario surgió de las conversaciones entre Ernesto García Camarero, encargado de la administración y gestión de los seminarios como subdirector del Centro y Javier Seguí, es por ello que de la introducción y también la coordinación en un principio de las actividades de este seminario se encargase él.

Seguí de la Riva señaló que la arquitectura como disciplina había carecido históricamente de una metodología de análisis científico, esta carencia pudiera estar motivada por su propia idiosincrasia. El objetivo fundamental que se plantea el seminario es organizar metodológicamente la investigación sobre conceptos tan arquitectónicos como el espacio. Para ello plantean analizar: la determinación espacial de edificios en función de la distribución temporal de actividades; estudiar la relación espacial psicológico-funcional; estudio de los límites espaciales; organización topológica de los espacios.



Figura 25. Programa COMRES, Modelo de domótica.

En la primera reunión de este seminario en resumen se acordó estudiar la vivienda. En la segunda reunión comienzan a analizar ¿qué es una vivienda?

Este fue uno de los seminarios más activos, generó publicaciones periódicas como SA, organizó coloquios internacionales y tuvo una actividad y participación creciente en estos primeros años; en la *Memoria del CCUM de 1968-69* (Centro de Cálculo 1969, 47-48) se recoge:

El objetivo de este seminario es obtener algoritmos que hagan posible la realización automática de los proyectos en arquitectura. [...] En este sentido Seguí de la Riba centró su atención en estudiar la metodología más adecuada para definir con precisión los siguientes puntos: Determinación espacial de edificios en función de la distribución temporal de actividades, análisis espacial psicológico-funcional, estudio de límites espaciales, organización topológica de espacios, proponiendo como criterios definitorios de los análisis anteriores los: determinantes espaciales de ubicación, los determinantes espaciales de acondicionamiento y los determinantes espaciales económicos.

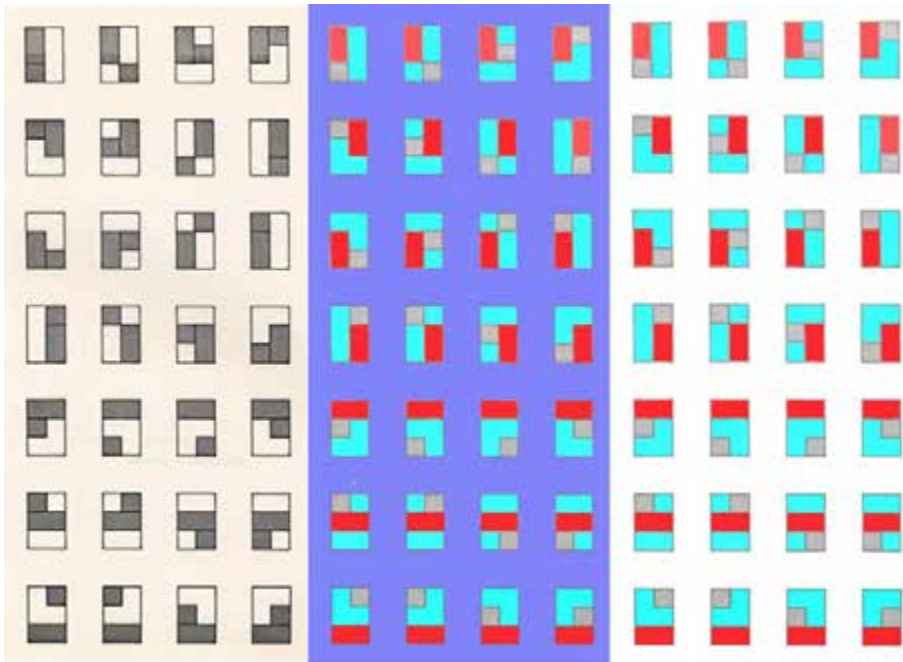


Figura 26. Programa ASAP, Modelo combinatorio.

Al inicio del curso 1969-70 se organizaron tres grupos de trabajo, el coordinado por Javier Seguí de la Riva estaba orientado hacia el análisis de las funciones arquitectónicas y su organización especial con vistas a la automatización del proyecto en Arquitectura; Juan Navarro Baldeweg estuvo encargado del desarrollo de un autómata residencial mediante el que se consideraba a la obra arquitectónica como un sistema cibernético y su funcionamiento como adaptativo al medio; por último José Miguel de Prada Poole al desarrollo de estructuras arquitectónicas neumáticas controladas por sistemas de fluidos digitales.



Figura 27. Programa MODCOM, Modelo conducta.

En la *Memoria de Centro de Cálculo 1970-73* se hace el siguiente resumen de las actividades de este seminario (Centro de Cálculo 1973, 68):

*Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas*²⁵

Uno de los campos de aplicación de los ordenadores ya muy desarrollado era el cálculo de estructuras arquitectónicas y resistencia de materiales, pero no así su empleo a problemas de diseño. En este sentido se desarrolló un seminario para analizar las formas arquitectónicas y estudiar su generación automática. En este sentido se siguieron diversas líneas como la del autómatas residencial, las estructuras modulares inflables, o la organización conductista de espacios. Con algunos de los desarrollos logrados se presentaron diversas comunicaciones a congresos (congreso internacional de IFAD, 1971, Ibiza. Jornadas de informática y concepción en arquitectura, 1971, París. Conferencia Internacional sobre computadoras en arquitectura, 1972 York). También surgió del seno del seminario la organización del Coloquio Internacional sobre arquitectura y automática celebrado en el Centro de Cálculo.

Seminario de Valoración del aprendizaje

En 1964 se puso en marcha el *Sistema UCM-CSIC de enseñanza asistida por computadora*, dirigido por el profesor José Solé. Estaba implementado en una IBM 1620, un ordenador sensiblemente menos potente que el IBM 7090. En esta experiencia se proponía establecer un sistema de aprendizaje auxiliado por computadoras, pero la baja capacidad de computación del sistema impidió que se desarrollaran los objetivos iniciales y se concentraron los esfuerzos en hacer un seguimiento de los itinerarios que seguían los alumnos en el aprendizaje de ciertas lecciones. Esta experiencia fue el antecedente conceptual, pero este seminario acogió las inquietudes de varias experiencias anteriores, en el ámbito académico parecía obvia la ayuda que las computadoras podía dar en este asunto.

Este seminario se reunió por primera vez el 14 de noviembre de 1968, un día después del de arquitectura.

En él se pretendía encontrar, a la vez que se estaba haciendo en otras universidades europeas, un método de evaluar la aprehensión de conocimientos en las aulas, es decir, el grado de idoneidad entre lo expuesto por el docente y lo aprendido por el discente. De forma que no se trataba simplemente de un método de corrección automática de exámenes sino el intento por valorar en

²⁵ Parece que el nombre se habría cambiado haciéndolo similar al de Formas Plásticas que se habría convertido en el seminario más destacado de los que allí se desarrollaban.

el alumnado por un lado su capacidad intelectual y por otro su eficacia profesional, para ello tendría en cuenta los conocimientos adquiridos, la capacidad solventatoria, la operatividad intelectual y las facultades propias del individuo; y en el caso de la pericia del profesorado en un primer momento no se contaba con un análisis y este era uno de los retos.

La presencia del lingüista y filósofo Víctor Sánchez Zabala, que en su labor como traductor para Rialp, Thecnos o Alianza había conocido la obra de diversos trabajos internacionales sobre el asunto significó que el seminario tenía un sentido conceptual pero se contó con las experiencias previas de Manuel Gayarre o de Martínez Carrillo, que desde su experiencia en Valencia aportó el conocimiento de los problemas de valoración allí desarrollados, o García Ramos que aportó su experiencia en el Instituto Químico de Sarrià; y también con la programación realizada por Isidro Ramos.

El último Boletín en el que aparece este seminario como tal es el número 6 de mayo-junio de 1969. A partir del siguiente curso académico, en noviembre de 1969, en el número 7 es sustituido por el de *Enseñanza de Ordenadores en Secundaria*; y más adelante en el Boletín número 13 de diciembre de 1970, dos cursos académicos más tarde, aparecen otros dos seminarios relacionados con la enseñanza: *Enseñanza programada asistido con ordenador* y *Modelos para Simulación de Sistemas Educativos*. Y ya en la *Memoria 1969-70* no aparece ninguna referencia a este seminario inicial.

Ordenación de la construcción

En la actualidad resulta raro pensar el por qué de la inclusión de este seminario dentro de la programación inicial del Centro de Cálculo, pero hemos de tener en cuenta que la estrategia comercial de IBM, no es de extrañar por tanto que un seminario cuyos avances o investigaciones tendrían como destinatario empresas constructoras era muy interesante comercialmente, estas empresas tenían capital suficiente para adquirir grandes computadoras si les resultaban provechosas.

Su primera reunión tuvo lugar el 27 de noviembre de 1968 y la segunda en 11 de diciembre, planteándose que a partir del 15 de enero siguiente las reuniones serían quincenales.

Según lo recogido en 1968 (Boletín CCUM, 1, diciembre 1968, 16) «Ara-cil expuso la necesidad de considerar la construcción como la organización de una serie de oficios, y realzando los tres factores que entran en juego en

el hecho arquitectónico: arquitecto, propiedad, constructor; siendo de interés homogeneizar los criterios.»

En la *Memoria de 1968-69* se hace esta breve resección del seminario (Centro de Cálculo 1969, 49):

Dos fueron los aspectos que se trataron en las sesiones de este seminario: por una parte la necesidad de encontrar un sistema de clasificación de materiales y de actividades, análogo al CBC, SBC o SFB y adaptado a la construcción nacional, en este sentido Ramírez Gallardo orientó sus exposiciones. Por otra parte A. Arranz se propuso la elaboración de un programa de ordenador para realizar presupuestos, certificaciones y evaluaciones, obteniendo resultados parciales.

Dejó de aparecer en los Boletines muy pronto, en el número 3 de febrero de 1969 encontramos su última referencia.

Seminario de Lingüística Matemática

Tuvo su primera reunión el 18 de diciembre de 1968. En este seminario es Víctor Sánchez de Zabala quien abre las sesiones y declara sus objetivos «Vamos a estudiar un espectro particular de la lingüística matemática (en el sentido de algún o algunos lenguajes ‘naturales’ o vernáculos mediante técnicas susceptibles de matematización) el de la semántica». Y parten de tres premisas: el predominio de la lingüística generativa; la importancia del estudio matemático de ciertas cuestiones lingüísticas; las distintas direcciones por las que se busca una vía de desarrollo a la semántica.

En los primeros momentos y bajo la dirección intelectual de Sánchez Zabala el Seminario se plantea como la suma de aportaciones de los diferentes participantes, en la *Memoria del Centro de 1968-1969* (Centro de Cálculo, 1969, 48-49) el resumen que se hace de este seminario plantea los diferentes puntos de vista de cada uno de los participantes:

Tras un plan general de estudio propuesto por V. Sánchez de Zavala con una bibliografía básica supuesta conocida, se expusieron y discutieron los siguientes temas:

- La económica en el sistema Fonológico, por R. Trujillo.
- Sobre la caracterización estilística de un texto literario con ayuda de ordenador electrónico, por J. A. Bellón.

- Sobre el comportamiento semántico de un lenguaje artificial, por E. García Camarero.
- Los problemas semánticos que surgen de los filósofos analíticos, por V. Sánchez de Zavala.
- Bibliografía reciente, por M. Rivero.
- Exposición de la Teoría semántica de Katz y Fodor, por Carlos Piera.
- El orden de las palabras, por V. de Monte.
- La nueva semántica de Weinreich, por V. Sánchez de Zavala.
- Últimos avances en gramática trasformativa, por M. Rivero.

A partir del segundo curso (1969-70) se fijaron nuevos objetivos teniendo en cuenta que lo planteado en este seminario se traspasaba con éxito a otros, se constituyeron dos grupos de trabajo y se establecieron cuatro líneas de actuación que serían desarrolladas independientemente:

1. Estudio de la lógica.
2. Desarrollo provisional de los fragmentos más esenciales de la sintaxis del castellano.
3. Técnicas de análisis y discriminación empíricos de significado en sintagmas de extensión variable.
4. Sistematización de las aportaciones psicolingüísticas, estrictamente semánticas y de la teoría de la referencia, con respecto a los fundamentos del componente semántico de la lingüística.

En la última parte del curso, en las últimas sesiones, se ha examinado brevemente un esquema de ampliación de la semántica con consideraciones relativas al contexto y a la situación, esquema que puede considerarse un esbozo de una pragmática o praxiología lingüística.

En la publicación de la *Memoria 1970-73* se hace el siguiente resumen de lo analizado en este seminario (Centro de Cálculo 1973, 69):

Los estudios lingüísticos clásicos han sido modificados por una parte por la aparición del estructuralismo y por otra por la presencia de los ordenadores que plantearon el problema de la traducción automática. Por otra parte la formalización de la lógica y la aparición de lenguajes artificiales hicieron que apareciese una nueva teoría llamada lingüística matemática.

Es muy interesante la aportación conceptual de este seminario a otros proyectos como el de Guillermo Searle e Ignacio Gómez de Liaño, *Gramática generativa de Patios platerescos*, transversal a los seminarios de Lingüística, Arquitectura y Formas Plásticas y también en el planteamiento compositivo del segundo curso del Seminario de Música, entre otros.

Seminario de Generación (Automática²⁶) de Formas Plásticas

El seminario surgió por la iniciativa de Mario Fernández Barberá, que fue la persona encargada por IBM España de coordinar la presencia de la corporación en el funcionamiento del Centro de Cálculo. Fernández Barberá era matemático licenciado en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Madrid, y posteriormente formado en la Universidad Técnica de Aachen (Alemania), persona fundamental en el desarrollo del Centro de Cálculo, y engranaje no solo entre la IBM y la universidad sino también entre creadores y científicos. Mario Fernández era amigo del artista José Luis Alexanco, este conocía la obra del malagueño Manuel Barbadillo al que animaron a solicitar una de las becas que el Centro de Cálculo otorgaba a investigadores gracias a la aportación económica del convenio con IBM. Le remitieron una carta en marzo de 1968 con información sobre el Centro y le mostraban su convencimiento que las investigaciones que estaba realizando sobre su obra se verían facilitadas con la ayuda del ordenador (Castaños Alés 2000). Las posibilidades que la pintura modular de Barbadillo ofrecía a la algoritmización del arte despertó el interés general y el Seminario se puso en marcha con la participación también de los procedentes de Valencia, Vicente Aguilera Cerni y José María Yturralde; del artista, en ese momento muy consagrado, Eusebio Sempere, que había promovido una experiencia de utilización de los ordenadores en la creación de su obra *Haces de septifolios* con el ingeniero de caminos Eduardo Arrechea, del Ministerio de Obras Públicas. Y gracias a un *plotter* que había en el ministerio, consiguieron diseñar e imprimir el primer trabajo resuelto por el cálculo informático en España. Años más tarde, en 1972, estas obras se convirtieron en serigrafías, lo que facilitó que hoy las conozcamos.

²⁶ El calificativo de *automática* se introduce poco después.



Figura 28. Participantes del seminario de izquierda a derecha, Enrique Salamanca, José Luis Alexanco, Lugan, Eusebio Sempere y Abel Martín.

Este seminario lo presentó el matemático Ernesto García Camarero, como subdirector del Centro en ese momento era el encargado del desarrollo de los seminarios que participó en la mayoría de las sesiones de los primeros cursos, así como en casi todas las sesiones del resto de seminarios. Comenzó su intervención dando noticia de cómo se desarrollaban los otros seminarios, y fue el que hizo el planteamiento base sobre el que se inició el trabajo. A partir del curso 70-71 se encargó Ignacio Gómez de Liaño de coordinar este seminario. Resulta sorprendente que ninguno de los dos tuviera como actividad principal la de artistas plásticos²⁷.

En la *Memoria de 1968 – 69* (Centro de Cálculo 1969, 47) se resume sobre este seminario:

En este seminario se propuso como tema central la búsqueda de criterios estéticos que sirvieran de base para la construcción de algoritmos de generación de formas plásticas. El trabajo se desarrolló en dos sentidos: por una parte la generación modular de formas propuesta por Barbadillo. [...] También han presentado módulos para su estudio Soledad Sevilla y Abel

²⁷ Ernesto García Camarero tuvo sus incursiones en el mundo de la creación en esos años, y también Ignacio Gómez de Liaño desarrolló una gran producción creativa y de experimentación, pero su formación era la de matemático y filósofo respectivamente.

Martin. Por otra parte De Prada, Seguí e Yturralde se interesaron en la búsqueda de significados a partir de la percepción y de la psicología; se dejó planteado para desarrollar el próximo curso una serie de experiencias. Florentino Briones propuso un algoritmo sencillo para la obtención de formas con *plotter* y también se han generado, siguiendo las ideas de Yturralde, las figuras imposibles de tres, cuatro y cinco vértices. Así como un primer análisis de la obra de Mondrian.



Figura 29. Florentino Briones explica el programa que desarrolla los módulos de Barbadillo.

Uno de los hitos de este seminario fue la participación del profesor Abraham A. Moles, de la Facultad de Letras de la Universidad de Estrasburgo y especialista en Teoría de la Ciencia, Creatividad y Estética Cibernética. El 12 de enero de 1970 pronunció una conferencia titulada *Definición heurística de la imagen cinematográfica*, y participó en la sesión regular del seminario. Esta intervención supuso un hito en el devenir del Centro como uno de los espacios más singulares del panorama internacional y su plena inclusión dentro de las corrientes más innovadoras europeas. El seminario fue profusamente invitado a todos los congresos, seminarios y publicaciones del momento.



Figura 30. Conferencia de Abraham Moles en el Salón de Actos del Edificio del CCUM.

Durante el segundo curso de 1969-70 el seminario cobró un auge considerable, aumentó mucho el número de participantes, la incorporación de Ignacio Gómez de Liaño trajo a varias personas que ya habían participado anteriormente en experiencias novedosas, y más artistas, pero también arquitectos, literatos o filósofos se inscribieron en el mismo.

Es durante este curso cuando se hacen las propuestas de sistematización conceptual más interesantes, se plantean proyectos más allá de la pintura modular, se toma en cuenta el asunto del tratamiento automático del color del que se encargó Tomas García Asensio, la utilización de problemas matemáticos para la creación de métodos de creación, o la problemática del movimiento en la nueva plástica que planteó Manolo Quejido, y que ya había tratado también José Luis Alexanco. El arquitecto José Miguel de Prada propone o hace una formalización conceptual de la construcción de un Estetómetro, es decir, de una máquina de medir lo bello.

Ignacio Gómez de Liaño pidió para finalizar el curso 1970-71 a todos los participantes una memoria de sus inquietudes y de sus expectativas, así como que pusieran por escrito un proyecto que esperaban poder poner en funcionamiento a través de la computadora. Todos estos proyectos están recogidos en los boletines a partir del número 16 de julio de 1971. Su estudio excede el carácter de este capítulo, pero de él resultaría un interesante trabajo de investigación.

En la *Memoria publicada sobre el periodo 1970-1973* aparece en primer lugar y con la mayor extensión, en estos momentos era el seminario con mayor difusión, el que habría recibido más atención mediática y también un mayor número de invitaciones a reuniones y congresos internacionales (Centro de Cálculo, 1973, 67-68):

En este seminario, que reúne a artistas y científicos se trata de establecer en qué forma puede colaborar el ordenador en la creación de formas plásticas. Por una parte se intentan resolver problemas de tipo específico que surgen al tratar de realizar una obra concreta. [...] Por otra parte se ha abordado un tema relativamente amplio en el que se cree que la colaboración hombre-máquina puede ser especialmente fructífera: la pintura modular. [...] Dado lo espectacular del tema no es de extrañar la amplia resonancia que han tenido los trabajos de este seminario en la prensa nacional. A nivel internacional han invitado al seminario a participar en un gran número de exposiciones Y reuniones (conferencia internacional sobre redes y computadoras, 1971, México. Coloquios sobre arte y ordenadores, 1971, Zagreb. Jornadas de informática y Concepción en arquitectura, 1971, Paris. Exposición en sala Santa Catalina, 1971, Madrid. Arteonia, 1971, Sao Paolo. Encuentros, 1972, Pamplona. Exposición itinerante «Impulsos: arte y computador» organizada por el instituto alemán, 1972. Action T-5, 1973, Zagreb).

Pese al empeño en recalcar la idea de que este no fue el único seminario y que en otros también se dieron resultados de excelencia, así como que la importancia de la didáctica o la exégesis de la informática conllevó la implantación de la misma como estudio reglado independiente en la universidad española, lo cierto es que este fue el seminario que le proporcionó al Centro de Cálculo relevancia internacional. Es cierto que el *Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas* se nutrió tanto de las investigaciones de otros seminarios, como de metodología externa, y que algunos de sus participantes más destacados no eran artistas, tuvo un periodo relativamente corto de actividad; sin embargo la influencia tanto sobre aquella generación de creadores, como la que aún hoy mantiene, también sirvió para consolidar la idea de que el arte se produce y reproduce desde cualquier premisa y soporte, que los creadores pueden buscar sus inspiraciones en asuntos propios a las Bellas Artes o en cualquier rama del conocimiento humano, y que lo trasversal le es propio al arte, así como inició la tendencia a diluir el concepto de autoría y considerar que la obra de arte puede ser producto de la conjunción de grupos o sinergias.



Figura 31. Participantes del seminario de izquierda a derecha, Ernesto García Camarero, Mario Fdez. Barberá, Ignacio Gómez de Liaño, Florentino Briones, Gerardo Delgado.

Ordenadores en la Enseñanza Secundaria

La primera sesión tuvo lugar el 7 de octubre de 1969, los participantes fueron: Petra Campón Rodillo, Irene Fernández-Flórez, Ernesto García Camarero, J. Miró, María Teresa Molina, S. Montero, Alicia Ríos, Evelia Ruiz Barbasán, María Luisa Zabala. Es de destacar que este es el seminario con mayor participación de mujeres, son profesoras de matemáticas en distintos colegios e institutos de segunda enseñanza y pertenecientes al grupo CAI de la Universidad Laboral de Alcalá de Henares.

El Seminario tenía un carácter no tanto teórico, sino que el propósito era el crear un programa concreto como soporte para la enseñanza a jóvenes entre 12 y 16 años. Lo dividían en dos tramos de edad de 12 a 13 y de 15 a 16²⁸.

²⁸ Estas son las edades que indican en el Boletín nº 7 de noviembre de 1969, no se sabe si se trata de un error o no les interesaban la edad de los 14 años.

para el primer tramo el objetivo es construir una máquina-juego, para ello se plantea la construcción de una doble máquina, por un lado, una virtual y por otro una física, como vemos se anticipa muchos de los conceptos informáticos que serán habituales con el paso del tiempo. Se plantea también la idea de que los niños aprendan lenguaje de programación.

Se realizaron varias experiencias en colaboración con diversos colegios e institutos secundarios de Madrid, Zaragoza y Barcelona, que fueron recogidas en la publicación de centro de cálculo ordenadores enseñanza secundaria. La última parte de este libro, un manual de informática para niños de Ernesto García camarero con la colaboración de A. Sánchez, se publicó también como manual independiente

Los trabajos de este seminario ha tenía una amplia repercusión internacional a través de comunicaciones ponencias en congresos en Liubliana (Eslovenia), Atlanta (EE.UU.) o Río de Janeiro (Brasil).



Figura 32. Participantes del seminario utilizando el equipo.

Autómatas adaptativos

Tuvo su primera sesión el 9 de octubre de 1969, al comienzo del curso académico, los participantes en esta reunión fueron: A. Cristóbal, Ernesto García

Camarero, I. Fernández Flórez, J. Mira, J.A. Martínez Carrillo, Isidro Ramos. Como coordinador del seminario actuaba J. Mira Mira.

Según palabras de Ernesto García Camarero (Boletín CCUM, 7, noviembre 1969, 17):

Nuestra intención es describir un autómata probabilístico, en el cual las probabilidades de transición no son constantes durante todo el período de aprendizaje, sino que dependen de la adecuación de su output con el medio, o mejor diremos de su conocimiento del medio, de forma que a partir de un instante inicial en el que suponemos un desconocimiento total del medio (es decir, las transiciones son equiprobables desde cada estado a todos los demás) irá evolucionando de manera tal que tras un cierto período de tiempo, su adaptación sea realizada.

Esto es, introducir Inteligencia Artificial en el IBM 7090. En el primer curso se había constatado, sobre todo en los resultados del programa creado para la pintura modular de Manuel Barbadillo, que las posibles salidas y soluciones que ofrecía el ordenador eran inmensurables y que al creador o investigador le resultaba imposible evaluar todas; se planteaba la necesidad de que fuera el propio ordenador el que discriminase aquellas que no cumplían un mínimo de los preceptos estéticos que marca el artista. También José Miguel de Prada Poole había planteado la construcción de una máquina de medir lo bello: el *Estetómetro*. En su artículo en *Introduction à l'Esthetometrie Hypothetique* (Centro de Cálculo, 1970c, 87-100) plantea un juego en el que le proporciona a una máquina el sustento teórico, basado en el número áureo, que le permita evaluar la belleza de una obra artística.

Isidro Ramos elaboró con éxito un programa de autoaprendizaje o adaptación para la máquina.

Para el primer curso se establecieron cuatro focos de interés:

1. Revisión del concepto de aprendizaje y adaptación en contextos estrictamente matemáticos.
2. Posibles conexiones de los procesos de aprendizaje con la teoría de la decisión.
3. Un sencillo ejemplo de aprendizaje por reflejos condicionados en que las matrices de transición son en parte probabilísticas y en parte determinísticas.

4. Un intento de diseño de una máquina a simular en la 7090, con un rango limitado de posibles posiciones de memoria e instrucciones. Se intenta enseñarla a producir programas.

A partir del curso 1970-71 el seminario se orientó hacia experiencias prácticas dirigidas a campos profesionales como era la medicina o la jurisprudencia, y también un acercamiento a la simulación de la conducta en pequeños grupos interrelacionales, un modelo psicológico de experiencia y de la situación de esta experiencia ante una normativa cultural.

Seminario de Música

Este seminario aparece por primera vez en el *Boletín CCUM* número 11 de Junio de 1970, su primera reunión el 11 de febrero de 1970, «un grupo de compositores convocados al objeto de tratar sobre una primera aproximación a los problemas que la relación composición musical-ordenador puede presentar».

Los participantes en este primer momento fueron: Carmelo Bernaola, Florentino Briones, Mario F. Barbera, Cristóbal Halffter, Tomás Marco, Luis de Pablos, Horacio Vaggione y era coordinador Eduardo Polonio.

Todos hicieron un cursillo de tres días sobre el funcionamiento de los ordenadores, y durante el primer semestre se trató de poner al día a los participantes sobre el panorama internacional del uso de ordenadores en la música. En las primeras sesiones Horacio Vaggione resumió y comentó el artículo de Nicole Lachartre *Les Musiques Artificielles* (Diagrammes du Monde, 146, Abril 1969), trabajos que desde 1956 llevan a cabo en la Universidad de Illinois Lejaren Hiller y también sobre el libro *Music by Computers* de Heinz von Foerster y James W. Beauchamp.

Los trabajos hasta ese momento en la relación música / ordenador iban en estos tres sentidos:

1. Utilización del ordenador para el cálculo de estructuras musicales. El ordenador aportaba composiciones que interpretaban manualmente. Similar a lo que ocurría en los primeros momentos en la plástica.
2. Se proporciona al ordenador una serie de reglas o leyes de composición, esto es, composición automática.
3. Utilización del ordenador para efectuar la síntesis de sonidos naturales.

El seminario se planteó materializar su investigación a través de la realización de un programa para la generación de series dodecafónicas que contuvieran todos los intervalos.

Durante el segundo curso se incorporan al seminario: Gonzalo Arnaiz, Fernando Arribas, Violeta Demonte, Julio Montero y Víctor Sánchez Zavala. Resulta relevante que tanto Víctor Sánchez Zavala como Violeta Demonte que participaban muy activamente del Seminario de Lingüística Matemática se incorporen al de Música. Los otros participantes nuevos Gonzalo Arnaiz, Fernando Arribas y Julio Montero eran técnicos informáticos que participaban redactando los programas y ajustando la parte operativa.

En la Memoria 1970-1973 se hace el siguiente resumen del Seminario de Música (Centro de Cálculo, 1973, 68-69):

Se pensó que la computadora podría jugar dos papeles: el de compositor (o mejor, ayuda a la composición) y el de interprete. Momentáneamente se abandonó la primera posibilidad centrándose los esfuerzos en construir un programa capaz de grabar en una cinta de ordenador (a bases de ceros y unos) la información detallada de las ondas sonoras de tal forma que la cinta fuera audible en un magnetófono normal adaptado para esto en el mínimo necesario. Esto se consiguió en cierta medida (algunos de los músicos presentes llegaron a componer algunas obras), pero la calidad del sonido no era suficientemente buena. [...] Durante el curso 1972-73 se reanudaron los trabajos del seminario, interrumpidos durante un año, se intentó exactamente lo contrario diseñar una máquina capaz de producir los sonidos, con calidad suficiente a partir de la mínima información posible sobre las ondas sonoras grabadas por el ordenador en una cinta magnética. El diseño se completó satisfactoriamente pero no se realizó materialmente por resultar excesivamente caro. [...] Esto, junto al problema de la composición, son los temas sobre los que el seminario deberá tratar en el futuro.

El seminario de Música tuvo una segunda época, a partir de la incorporación del músico Rafael Senosiaín en 1973. En esta etapa Florentino Briones, que dejó el Centro en 1974, contó con una serie de jóvenes músicos y artistas que continuaron sus reuniones en diferentes sedes con un carácter muy similar al que marcó los primeros cursos de los seminarios. Las reuniones duraron hasta principios de los ochenta, y acabaron con la irrupción de los ordenadores personales, cuando los componentes pensaron que se abría una nueva etapa de la relación hombre-máquina. Esta experiencia merece una reflexión más amplia, tanto por lo

que supone de continuación como de la utilización de un esquema de trabajo en el que se proyecta una metodología común pero se mantiene la autoría individual de la obra. Las principales publicaciones de este periodo se hicieron en la Revista de Informática y Automática del Instituto de Electricidad e Informática del CSIC.

*Cuarteto para cuerdas, op. 6^a, de Rafael Senosiain.

numeración de las cuerdas : I, II, III, IV

I

agudo
IV
III
II
I
Grave

continuar hasta el próximo sonido

Gliss.

Símples, dobles, triples, cuádruples cuerdas

Cambio de frecuencia o final

Pizz

Silencio

Armonicos

II

Figura 33. Obra de Rafael Senosiain del Seminario de Música en su segunda época.

OTROS SEMINARIOS

A partir de 1971, aunque algunos de estos seminarios habían comenzado en el curso anterior, surgen otros orientados a la organización administrativa profesional o a cuestiones técnicas informáticas, y suponen un cambio muy sustantivo en el carácter del Centro de Cálculo. Si en los descritos anteriormente se trataba de crear, elucubrar, inventar y soñar con las posibilidades creativas que aportaba la computación, de introducir en España la estética computacio-

nal, las teorías lingüísticas internacionales más innovadoras o la Inteligencia Artificial; estos seminarios suponen un acercamiento a la labor investigadora tradicional, a la praxis de la ciencia, pero también al desarrollo de la ingeniería y de los procesos industriales y cotidianos.

La investigación se orienta hacia la optimización de procesos, la creación de bases de datos, la organización y gestión de sistemas de control o de diagnóstico automático en los dedicados a la Medicina y junto a los otros de carácter técnico o de orientación didáctica, están concebidos para acercar los ordenadores a ámbitos nuevos de la actividad humana, son seminarios que prevén como la informática va a ser una técnica presente en todos los aspectos de la actividad humana y los ordenadores estarán desde este primer momento en los grandes hospitales, las grandes empresas o entidades administrativas. En ellos la máquina no es un tótem, no tiene una simbología de modernidad, se puede entender como técnica nueva que va a facilitar la labor humana, y también va a permitir una mayor velocidad en las investigaciones, ya en estos momentos se vislumbra que la presencia de ordenadores acelerará y provocará una nueva revolución, tanto industrial como informacional.

SEMINARIOS MÉDICOS

Proceso de información médico-sanitaria-asistencial

En el *Boletín* numero 13 de diciembre de 1970 aparece por primera vez este seminario. Su primera reunión tuvo lugar el 13 de octubre, se nombró como coordinador a Juan Antonio Martínez Carrillo, en conversación con Guillermo Searle indicó que el que promovió la inclusión de las cuestiones médicas en el Centro de Cálculo fue el doctor Salvador Arribas Valiente, que ya había trabajado y estudiado las posibilidades de la informatización en medicina, de hecho en la segunda reunión del grupo presentó el artículo *Medical Computing: a Reappraisal, The Saucet, April 4, 1970* y era el encargado de moderar los asuntos. En un primer momento se producen reuniones semanales e incluso dos veces por semana, los asuntos que se trabajaron fueron fundamentalmente; analizar lo que se hacía en otros países; informar sobre como se podía realizar el tratamiento y transmisión de datos; evaluar la cantidad de información clínica que era necesario tratar en España; se plantea requerir apoyo de la Dirección General de Sanidad, y a tal efecto se convocó una sesión con responsables de diversas áreas de la administración del Estado y el director del Centro de Cálculo y algunos representantes universitarios; se plantearon algoritmos para el diagnóstico; bases de datos varias (toxicológicas).

Este seminario tuvo reuniones periódicas muy continuadas, se constituyó como un grupo cohesionado organizado sobre todo por el doctor Arribas. No se trataban asuntos de especial creatividad o innovadores, en el se intentaba poner al día la informática en la administración y gestión de la práctica médica.

El segundo curso académico que ocupó este seminario, se decide abordar la estructuración de la Historia Clínica, desde un punto de vista general y amplio, como base fundamental para el desarrollo de un banco de datos médicos y futuros programas de diagnóstico automático.

Información médica obstétrica

Las reuniones de este se iniciaron en marzo y que se reunían todos los jueves. Según se manifiesta (Boletín CCUM, 17, diciembre 1971, 31):

Se originó por la conjunción de una doble vertiente: la médica, necesitada de contar con un sistema útil, rentable y objetivo en el manejo de la información obtenida por la asistencia, docencia e investigación y la matemático-informática, nacida de la inquietud de los alumnos y profesores de esta reciente creada especialidad de Ciencias, de plasmar en hechos prácticos los conocimientos adquiridos al objeto de completar al máximo su formación académica. Al cabo de casi un año, nos encontramos con un equipo de trabajo que ha adquirido conciencia de su rentabilidad científica y ha decidido constituirse de forma permanente, estableciendo unos programas a plazos más o menos largos dentro de la Informática-Obstétrica.

SEMINARIOS TÉCNICOS

De estos dos seminarios no se da ninguna información en los Boletines CCUM, tenemos información por las memorias, lo que indica que su consideración era la de cursos técnicos que tendrían una temporalidad mayor y un carácter más específico que aquellos que se impartían sobre lenguajes de programación.

Aproximación de funciones

Como se declara en la *Memoria de 1969-70*: «el objetivo práctico de este seminario es el de perfeccionar en rapidez y ahorro de posiciones de memoria las funciones *standard* del compilador IBM-7090.» (Centro de Cálculo, 1970, 86). Este seminario surgió como continuación a las conferencias pronunciadas por el doctor

Ortiz, profesor de Análisis numérico del *Imperial College* de Londres (otro de los centros que recibió un IBM 7090), en diciembre de 1969 en el Centro de Cálculo. Las primeras reuniones se dedicaron al estudio de los polinomios de Chebyshev.

Compilación

Se trata más que de un seminario como se entendía en los momentos iniciales, de un curso continuado sobre cuestiones técnicas y problemas que surgen de los procesos de adaptación del lenguaje humano al de la máquina. Compilar es un proceso informático que convierte texto en programas ejecutables por la máquina, cada línea de código escrito se convierte en una sentencia que es llevada a cabo y que supone una acción por parte del ordenador.

Este seminario era coordinado por Isidro Ramos que entendió la necesidad de establecer una dinámica continuada de aprendizaje, investigación y práctica. Él participaba en otros seminarios y adecuó el dispositivo de transmisión de conocimiento e investigación a esta necesidad técnica.

La primera reunión tuvo lugar el 21 de mayo de 1970 (Centro de Cálculo, 1970, 87):

Como consecuencia de los trabajos que sobre compilación se vienen desarrollando en el Centro de Cálculo desde hace más de un año (traductor de un lenguaje orientado a la enseñanza secundaria y la puesta a punto del CAP, traductor mixto compilador-ensamblador con fines didácticos), de los estudios que se han desarrollado sobre el tema y del curso sobre compilación para especialistas en software que se dictó en el Instituto de Informática.

OTROS SEMINARIOS SOBRE DIDÁCTICA

Enseñanza programada asistida por ordenador

Este seminario surge de la necesidad de ampliar, organizar y sistematizar los anteriores de Valoración del aprendizaje y Ordenadores en la Enseñanza Secundaria. Ernesto García Camarero otorgaba mucha importancia a la inclusión de la Informática en las enseñanzas regladas, en convertir en nativos informáticos a las siguientes generaciones, una visión muy avanzada de lo que luego de forma casi natural sucedió con la tecnología.

La primera reunión tuvo lugar el 18 de diciembre de 1970, en el resumen que se hace de las sesiones se destaca la necesidad de organizarse por grupos y

así se constituyen los de: Química Analítica, Física Básica, Anatomía / Fisioterapia, Matemáticas, Geografía, Biología, Creatividad en las enseñanzas, Valoración del aprendizaje, Teoría del aprendizaje, Software orientado al aprendizaje y Filosofía de la enseñanza (Boletín CCUM, 13, diciembre 1970, 47).

Convoca a un amplio número de docentes y programadores que en sesiones quincenales se dedican a desarrollar propuestas para un aprendizaje guiado por ordenadores en las diferentes áreas de conocimiento.



Figura 34. Ernesto García Camarero con alumnos de secundaria.

Modelos para (simulación) de sistemas educativos

La UNESCO puso en marcha en esos años el Modelo ECENSE y encargó a Florentino Briones desarrollar un modelo matemático que pretendía efectuar previsiones de las necesidades de los modelos educativos teniendo en cuenta el pasado y la situación en un momento determinado y conocer la interrelación entre los diversos factores del proceso educativo. El Modelo ECENSE analizaba a través de un sistema de cuarenta ecuaciones y trescientas variables, la evolución de la población, las necesidades de profesores y costes de la enseñanza²⁹. El modelo se aplicó primero en España (Ley de educación de Villar Palasí), fue el primer listado de ordenador que se utilizó en la Cortes

²⁹ El Ministerio de Educación publicó también un folleto de unas 50 páginas, *Modelo español de desarrollo educativo*, con todo el desarrollo matemático, que se entregó junto con el listado a todos los procuradores de las cortes.

para aprobar una ley. Más tarde se implantó en otros países de África y Sudamérica.

Florentino Briones acudía a las sesiones informativas que sobre dicho modelo se organizaban y trasladaba e informaba a los participantes en el seminario sobre las cuestiones teóricas e informáticas, en los boletines números 13 y 17 aparece en dos entregas las principales líneas de este modelo de simulación de sistemas educativos (Boletines CCUM, 13, diciembre 1970, 53-55; 17, diciembre 1971, 14-30).

Planes de estudios universitarios en Informática

Durante el curso 1971-72 se instauró en la Universidad Complutense de Madrid la especialidad de Informática en las licenciaturas de Físicas y Matemáticas. En el Boletín número 18 en marzo de 1972 aparece por primera vez este seminario. En el participan: J. Bondía, J. Buján, E. García Camarero, María L. González, A. Guijarro, C. Marco Peris, P. Martín Yebra, M^a T. Malina, I. Ramos, A. Ríus Galindo, M. Rodríguez Ortalejo y J. L. San Emeterio.

Se plantea como una continuación y consecuencia de las reuniones con alumnos y profesores de la especialidad de Cálculo Automático de las licenciaturas de Físicas y Matemáticas. La idea que lo promueve es la de localizar y evaluar los diferentes planes de estudios existentes en otras universidades donde ya se imparte Informática, y de este estudio extraer posibles modificaciones y mejoras para el plan de estudios vigente es los estudios de la Complutense.

Se estableció como método de trabajo abordar las siguientes fases: Definición de Informática; Revisión de planes de estudios de otras universidades; Revisión del plan de estudios actualmente en curso en la Universidad de Madrid.

En esta primera referencia al seminario en los boletines se recoge la aportación del profesor Bondía *Sobre el concepto de información. Intentos de definición de la ciencia informática* y el texto de Martín Yebra *La educación de ordenadores en EE.UU.*

Seminario sobre aplicación de la informática al estudio del Fenómeno OVNI

En 1972 inicia sus sesiones este seminario que en la actualidad nos parece algo completamente estrambótico a las actividades propias de un centro de

investigación y creación del nivel del CCUM, es en el *Boletín CCUM* número 20 septiembre de 1972 donde tenemos la única referencia del mismo, participan alumnos del citado Centro y del C. E. I., así como algunos estudiantes de diversas facultades de esta Universidad el día 7 de abril de 1972 tuvieron la primera reunión.

La celebración de este seminario da idea de la capacidad de recepción a ideas nuevas del Centro de Cálculo. Esta era una propuesta de un grupo de estudiantes, que si bien se salía de toda ortodoxia, tenía un planteamiento metodológico interesante.

Es de destacar la coletilla que se pone al seminario «y sus posibles motivaciones físicas y psicológicas». Se prevé una duración de dos años para finalizar el estudio, con una frecuencia de una reunión por semana; y el objetivo que se pretende es: «la revisión profunda de toda la casuística nacional, acumulada desde 1946, a fin de extraer de ella, mediante estadísticos, todas las peculiaridades y constantes que puedan aportar algo nuevo para el conocimiento de este ya viejo fenómeno».

Establecen el siguiente plan de trabajo:

- 1º) Sistema de codificación.
- 2º) Análisis genérico de la evolución del fenómeno OVNI desde 1947, y estudio de los niveles de significación de máximos y mínimos.
- 3º) Eliminación de ruidos de fondo.
- 4º) Estadísticas generales sobre las características del fenómeno: color, forma, distribución horaria, días de la semana, relaciones tipo-testigo, dimensiones, sonido, efectos sicofísicos, etc.
- 5º) Estudios ortoténicos.
- 6º) Determinación de los índices teóricos de observación en cada provincia y comparación con resultados reales.
- 7º) Atendiendo a los resultados del apartado 6º, estudio profundo de los siguientes factores:
 - geomagnetismo,
 - geología,
 - sismología,así como de los demás aspectos que pudieran ser significativos.
- 8º) Estudios comparativos con ionización atmosférica y actividad solar.
- 9º) Estudios psicológicos.
- 10º) Análisis detallados y comparativos de todas las zonas donde se hayan producido casos tipo I.

Si bien el motivo de estudio en la actualidad nos puede parecer extraño para el Centro de Cálculo la metodología que se implementa resulta claramente adecuada, y pone de manifiesto que durante los años en que funcionaron los seminarios marcaron una forma de trabajo.

2.4.3. *Los participantes*

Los seminarios fueron un polo de atracción para muchos investigadores, artistas, filósofos, lingüistas, científicos, intelectuales o simplemente interesados. No todos tuvieron una actividad similar ni cualitativa ni cuantitativamente, pero destacar a unos sobre otros siempre es peligroso, y con seguridad, resulta injusto. A continuación, se relaciona ordenado por seminarios, dentro de cada uno alfabéticamente, todos los participantes que se han extraído de los Boletines, en cada entrada sobre cada seminario se indicaba; fecha de reunión y participantes³⁰.

Seminario de Composición de Espacios Arquitectónicos con ordenadores

Arranz López, Andrés; Asensio Fernández-Castanys, Justo; Briones Martínez, Florentino; Carda Abella, Alfredo; Carvajal, G.; Casas Gómez, Manuel de las; Demonte Barreto, Violeta; Eizaguirre, Juan; Elizalde Pérez-Grueso, Javier; Esteban, C.; Fernández, P.; Fernández-Florez García, Irene; Fraga, S.; Francos, A.; G. Carvajal; García Alba, A.; García Camarero, Ernesto; García de Arangoa, Antonio; García Quijada, A.; Garrido, R.; Gómez de Liaño Alamillo, Ignacio; Gómez Perales, José Luis; Gutiérrez Guitián, María Victoria; Hernanz, S.; Iruretagoyena, JM.: J.L. Posada; Lafuente López, Julio; Moreno Guerreros, J.; Navarro, Julián; Navazo Rivero, Fernando; Osanz Diaz, F.; Paradinas, J.L.; Peña Angulo, A.; Perucho Lizcano, J.M.; Pina, M.; Posada, J.L.; Quejido, Manolo; Rodríguez Gimeno, S.; Sambasilio, Carlos; Sánchez Aurióles, A.; Sánchez García, Miguel; Sarquis Jaule, Jorge A.; Searle Hernández, Guillermo; Seguí de la Riva, Javier; Serrano, S.; Sevilla Corella, Carlos; Spagnoulo, N.; Téllez Olmo, Santiago; Temprano, J.

³⁰ El listado se realizó en la Unidad de Gestión del Patrimonio Histórico de la Universidad Complutense por Ángela Yebra y Julia Nicolás para formar parte de la instalación de la Colección Complutense del Centro de Cálculo en el Edificio del Pabellón de Gobierno. Ha sido corregido y ampliado mínimamente. Los errores que puedan ser detectados se deben a la impericia de los editores del presente texto.

Seminario de Valoración del aprendizaje

Campo Urbano, Salustiano del; García Camarero, Ernesto; García Ramos, Luis Alberto; Gil Gayarre, Miguel; Martínez Carrillo, Juan Antonio; Moya Quiles, Roberto; Olivia Portolés, M.A; Ramos Salavert, Isidro; Sánchez de Závala, Víctor.

Ordenación de la construcción

Aracil Bellod, José Joaquín; Arranz López, Andrés; García de Arangoa, Antonio; González de la Vega, T; Jenaro Garrido, José María; Monteagudo Muñoz, J.M; Ramirez Gallardo, Gonzalo; Rodríguez Argenta, J.P.

Lingüística matemática

Bellón Cazaban, Jose Alfredo; Blázquez Galauz, Pilar; Bort, María Teresa; Catrón de García, J.; Cristóbal Lorente, Andrés; Demonte Barreto, Violeta; Destrooper, Chantal; Díaz de la Cruz, A.; García Camarero, Ernesto; García Domínguez, P; Garrido López, C.; Garrido, A.; Garrido, M. A.; Garrido, JM.; Gerardy de Polonio, Jacqueline; Gimeno Salvatierra, P; Gómez de Liaño Alamillo, Ignacio; Gracia, F.; Granados, C; Gómez de Vila, C; Mataix, C.; Melendez Rolla, Mario; Melero, M.; Mellizo Moya, A.; Nogales, M.V; Parra Pozuelo, M.; Peira Soberón, Pedro; Piera Gil, Carlos; Ruiz, P.; Postigo Aldeamil, M^a Josefa; Ríos Ivars, Alicia; Rivero, M^a Luisa; Saltor, F.; Sánchez de Závala, Víctor; Seguí de la Riva, Javier; Sherman; Shields, C.; Theunissen, F.; Torrego Salcedo, Esther; Trujillo Carreño, Ramón; Velilla Barquero, Ricardo; Viotto, J.M.; Yankiver.

Generación Automática de Formas Plásticas

Aguilera Cerni, Vicente; Alexanco, José Luis; Álvarez Cienfuegos Suárez, Fernando; Amo García, Alfonso del; Asíns, Elena; Balart, Waldo; Barbadiello Nocea, Manuel; Briones Martínez, Florentino; Buenaventura Barrial, Ana; Cabrero, F.; Carbonell, Fernando; Carvajal, G.; Casas Gómez, Manuel de las; Delgado Pérez, Gerardo; Delgado, E.; Dina, Malle; Eizaguirre, Juan; Eleta Salazar, José Ramón; Fernández Barberá, Mario; Fernández-Florez García, Irene; Fraga, S.; García Asensio, Tomás; García Camarero, Ernesto; García Fernández, J. L.; García Nart, Marta; García Quijada, A.; Garriga, Ramón;

Gómez de Liaño Alamillo, Ignacio; Gómez Perales, José Luis; González Es-techa, Francisco Javier; González, J. M.; Lorenzo, M.; Luga (Luis García Núñez); Martín, Abel; Martínez Villaseñor, V.; Martínez, F.; Molero, Hermi-nio; Montero Delgado, Julio; Navascués Martínez de Azcoitia, José María; Peña, J.; Prada Poole, José Miguel de la; Quejido, Manolo; Ramos Salavert, Isidro; Rica y Castedo, Luis de la; Ruiz, J.; Salamanca, Enrique; Sambricio, Carlos; Sanz Fraile, Eduardo; Sarquis Jaule, Jorge A.; Searle Hernández, Gui-llermo; Seguí de la Riva, Javier; Sempere, Eusebio; Sevilla Portillo, Soledad; Yturralde, José María.

Seminarios sobre didáctica y enseñanzas

Enseñanza de ordenadores en secundaria; Modelos para (simulación) de sis-temas educativos; Enseñanza programada asistida por ordenador.

Álvarez Hernández, Mari Luz; Arlanzón Sevilla, Jesús; Brage Ballesteros, M^a Gloria; Briones Martínez, Florentino; Campón Rodillo, Petra; Casañas As-canio, Tomás; Casulleras Regás, Juan; Chaumel, Julio; Chinchetro, Gabriel; Cibantos, M.; Cristiobal Lorente, Andrés; Dios García, Juan de Eleta Sala-zar, José Ramón; Espadas, Diego; Fernández-Flórez García, Irene; Fernán-dez Marrón, José Luis; Fernaud Bethencourt, Juan Manuel; Fonolleda Prats, Juan; García Camarero, Ernesto; Garcia-Denche, Jesús; Gonzalez, I.; Gonzá-lez Abad, Felipe; Gutiérrez Cos, P.; Herreros Alcocer, José Miguel; Martin, Mari Carmen; Miró, J.; Molina Ávila, María Teresa; Montero, J.; Montero, S; Palacios, J. J.; Palacios Peña, Jorge; Pascua Piqueras, Manuel; Perales Loza-no, Dionisio; Pérez Arriaga, José Ignacio; Ramos Salavert, Isidro; Ríos Ivars, Alicia; Rodríguez, Jesús; Rubio, V. J.; Rueda Andrés, Antonio; Sanchez Mar-cos, Martin; Sánchez, Abel; Soler Valero, Francisco; Zabala, Maria Luisa.

Autómatas adaptativos

Alfonseca, J.I.F.; Alfonseca Moreno, Manuel; Cristóbal Lorente, Andrés; Fer-nández-Florez García, Irene; García Camarero, Ernesto; Martínez Carrillo, Juan Antonio; Mira Mira, José; Ramos Salavert, Isidro.

Música

Arnáiz Vellando, Gonzalo; Arribas de Castro, Fernando; Bernaola, Carme-lo A.; Briones Martínez, Florentino; Demonte Barreto, Violeta; Fernández Barberá, Mario; Halffter, Cristóbal; Marco, Tomás; Montero Delgado, Ju-lio; Pablo, Luis de; Polonio, Eduardo; Sánchez de Zavala, Víctor; Vaggione, Horacio.

Seminarios médicos

Proceso (tratamiento) de información médico-sanitaria; Información (diagnóstico) médica obstétrica.

Álvarez Hernández, Mari Luz; Arizcun-Pineda, José; Arribas de Castro, Fernando; Arribas Valiente, Salvador; Casañas Acanio, Tomás; Cristóbal Lorente, Andrés; Fernández de Soto, A.; García Cubero, Ángel; Garcia-Denche, Jesús; Gonzalez, I.; Lorenzo, Alejandro; Martin, Mari Carmen; Martinez, R.; Muñoz Solés, Pablo; Muro y Fernández-Cavada, Antonio; Palacios, J. J.; Parache, J.; Perea, J.; Pérez González, Javier; Piga Rivero, Antonio; Rodríguez Bachiller, Luis; Rubio, V. J.

Compilación

Alfonseca Moreno, Manuel; Cristóbal Lorente, Andrés; Fernández Flórez, Irene; Eleta Salazar, José Ramón; García Denche, Jesús; González F. Vallejo, Carlos; Ladrón de Guevara, Pedro; Ramírez Cacho, Francisco; Ramos Salavert, Isidro; Rodríguez Solano, Joaquín; Salillas Ibáñez, José Luis.

Aproximación de funciones

Casañas Ascanio, T.; Sánchez Marcos, Martín; Sánchez Villán, Aurora; Clement Fernández, Rosario; Córdoba Barba Antonio; Rodríguez López-Cañizares, F. J.

Planes de estudios universitarios en Informática

Bondía Company, Jorge; Buján, J.; Campo Urbano, Salustiano del; García Camarero, Ernesto; González, María J.; González, Mari Luz.; Guijarro, A.; Marco Peris, C.; Martín Yebra, P.; Molina Ávila, María Teresa; Ramos Salavert, Isidro; Ríus Galindo, A.; Rodríguez Artalejo, Mario; San Emeterio, J.L.

Aplicación de la informática al estudio del fenómeno OVNI

Amirola Vila, M; Ares de Blas, F.; López, A.; López, D.G.; Martín, Mari Carmen; Moreno, G.; Olmos Fraile, V.; Palacios, J.J.; Pueche Uría, J. Quintas, J.M.; Roperó González, Matilde; Serrano, J.; Tamayo, Mari Carmen; Tortajada, A.; Zubieta, A. J.

2.4.4. ¿Por qué fue tan novedoso lo sucedido en los seminarios?

Sobre la importancia de los proyectos y publicaciones que surgieron de la actividad en los seminarios del Centro de Cálculo cabe girar la vista a lo que se puso de relieve durante las visitas recíprocas que se hicieron entre el *MediaLab* del Instituto Tecnológico de Massachusetts, su director Nicholas Negroponte impartió una conferencia en el salón de actos del CCUM sobre *Arquitectura y Máquinas*, y la visita de algunos participantes en los seminarios madrileños a Boston. La impresión que transmitieron Ignacio Gómez de Liaño y Javier Seguí de la Riva era que la principal diferencia entre el *MediaLab* estadounidense y el Centro de Cálculo español era la mayor inversión económica en tecnología del americano. En lo referente a los asuntos que se desarrollaban en ambos, el calado conceptual, la excelencia de la metodología y la amplitud en los asuntos abordados eran muy similares, e incluso había una mayor originalidad en los desarrollados en Madrid.

¿Qué motivó una actividad tan novedosa? El Centro de Cálculo participó invitado, como ya hemos visto, en numerosos congresos y reuniones científicas internacionales, su actividad promovió publicaciones en Francia, Yugoslavia, Brasil, Gran Bretaña o Italia entre otros países, muchas de las personas que pasaron o trabajaron allí participaron en proyectos externos.

El contexto social, político y cultural de la España de los 60 del siglo XX tiene una importancia fundamental, hay un cambio muy significativo en la España de esta década frente a la autarquía posterior a la Guerra Civil: el acceso de los tecnócratas a cotas de poder anteriormente reservadas a militares y falangistas; desarrollo económico y mejora en las condiciones de vida; regreso de muchos exiliados; pequeños cambios en el Código Civil significaron una mínima relajación de la mano dura exhibida por el régimen; la emigración masiva de españoles a Europa significó el reintegro de un aporte económico y cultural; la llegada de turistas internacionales nos familiarizó con lo foráneo; los movimientos culturales, artísticos y literarios tienen un control más laxo por parte de censores y autoridades; los movimientos estudiantiles en la universidad crecen; en definitiva, se dan en España ciertas aperturas y sobre todo surge una intelectualidad más bañada por lo externo y mejor preparada para interactuar. Y de esta base social de intelectuales, creadores y científicos con una formación amplia se nutrió tanto la estructura laboral del Centro de Cálculo como los participantes en los Seminarios.

También en el plano internacional, se dan cambios muy potentes, son los años de la Primavera de Praga, del Mayo del 68 francés, del fin del estructura-

lismo y el inicio de posmodernismo, los movimientos Hippie y Beatnik californianos, la eclosión de la cultura y música Pop, la liberación sexual, el auge de los movimientos feministas y LGTB, los movimientos por los derechos civiles de las minorías en Estados Unidos, la Guerra Fría, oposición de la juventud a la Guerra de Vietnam, el Concilio Vaticano Segundo, los grandes pensadores progresistas en Occidente, la relación de asuntos excede al objetivo de este texto pero en definitiva estos años supusieron un empoderamiento de la juventud y las minorías, una percepción social sobre las posibilidades de cambio en las políticas sociales, culturales y económicas mundiales, revoluciones de todo tipo se pusieron en marcha, y un gran cambio mundial se vislumbraba.

Sin embargo, resulta revelador poner atención a lo que dos de los coordinadores de dos de los seminarios más interesantes el de Arquitectura y el de Artes Plásticas, es decir Javier Seguí de la Riva e Ignacio Gómez de Liaño, refieren al ser interrogados sobre las causas de cómo fue instaurándose en los Seminarios una forma de investigación nueva. En los dos casos hablan de algunos de sus respectivos viajes por Europa y Estados Unidos en esos momentos. Ignacio en esos años recorrió Francia, Italia y Gran Bretaña para tomar contacto con los principales poetas experimentales europeos, en el periplo acudió a la inauguración de *Cybernetic Serendipity*, las conferencias de Noah Chomsky en Cambridge, conoció a Max Bense o William Burroughs; Javier Seguí estuvo en París el mayo de 1968, visitó Nueva York, Boston y California, convivió con hippies y arquitectos de todo el mundo.

Actitudes y experiencias personales similares se dieron en otros participantes como Eusebio Sempere o Abel Martín, Violeta Demonte o Víctor Sánchez Zabala, José Luis Alexanco o Luis de Pablo por citar algunos con los que hemos tenido oportunidad de conversar, todos ellos aportaron diversidad de puntos de vista, el conocimiento de métodos diferentes y una inclinación por la experimentación.

El método científico influyó en los procesos de producción artística, de forma que las vías entre lo teórico y lo empírico propias de la ciencia se recorrieron en lo creativo, pero también la característica propia de lo artístico, es decir, la creación de imágenes y objetos como resultado de la investigación o reflexión llegaron a lo científico. Estos procesos no fueron exclusivos del Centro de Cálculo, se dieron en muchos centros de experimentación internacionales, pero lo importante es que en España, en Madrid, también se dieron y al mismo tiempo. La influencia de la estética computacional, y el resto de ideas que se desarrollan en otros capítulos de esta publicación, el cambio en

el paradigma creativo que supuso la aparición de las computadoras, y el consiguiente replanteamiento de los métodos creativos llegaba paralelamente a del resto de los países avanzados.

Los Seminarios del Centro de Cálculo fueron un polo de atracción de personas que pasaban por allí por dos motivos fundamentales: ver lo que pasaba en un lugar donde pasaba mucho en un país en el que hasta estos años no pasaba mucho interesante; y por otro lado la seducción que emanaba de ese tótem futurista que era la supercomputadora IBM 7090.

Y el aporte experiencial de cada uno de los que por allí pasaron se une a las dos características fundamentales de los que marcaba el cómo y por qué de lo que allí se investigaba: experimentación e inmediatez.

La experimentación era un fin en sí misma, sustituyó como eje de la creación a la inspiración, los jóvenes creadores españoles quisieron ver y probar ¿qué pasaba si? o ¿cómo hacer esto?, se rompieron los estamentos estancos en la concepción de cómo acceder al conocimiento, e inician una época donde había más preguntas que respuestas.

Y las computadoras les permitían que toda esa curiosidad fuera satisfecha inmediatamente, sin demoras, sin esperas, todo había de empezarlo y acabarlo con inmediatez, con velocidad, con la desaparición, con lo que Paul Virilio (1997; 1999) observa como consecuencia de la implantación de las nuevas técnicas, pasar de un lugar a otro, itinerar en un continuo movimiento desde la curiosidad a la creación.

3. Arte y computadoras: el contexto internacional

El primer arte computacional puede rastrearse hacia una curiosa serie de inventos y aparatos ingeniosos, muy lejanos de lo que son los ordenadores actuales, pero que constituyen poco a poco las bases tecnológicas y conceptuales de los sistemas digitales. Telares, tarjetas de cartón perforadas, válvulas de vacío, péndulos y otros sistemas mecánicos y eléctricos conforman un conjunto de aparatos e ingenios que permitirá la creación de dispositivos capaces de crear imágenes, formas, música y textos desde procesos automatizados. Métodos de creación y producción que conectan con procedimientos artesanos de fabricación y ornamentación: cerámica, telas, muebles, objetos de uso doméstico. Patrones decorativos, plantillas, moldes y estampados constituyen desde antiguo métodos asistidos para la creación mecanizada de imágenes y formas. En música y literatura se han estudiado los sistemas basados en reglas para la generación de contenido, incluso introduciendo un factor aleatorio mediante el lanzamiento de dados, como es el caso de la conocida pieza de Mozart³¹. Estos sistemas constituyen el cultivo desde el que surgen las primeras exploraciones de los nuevos sistemas de cálculo automatizado que se desarrollan con las necesidades de la industria militar en la Segunda Guerra Mundial, y se expanden para la reconstrucción y expansión tecnológica de la posguerra. La conducción con precisión de misiles y la desciframiento de mensajes cifrados son dos campos que fuerzan al máximo el ingenio de matemáticos e ingenieros, con avances que conducen a la creación de los primeros ordenadores digitales con un uso civil³².

³¹ El juego de dados musical (*Musikalisches Würfelspiel* en alemán) que Mozart compuso en 1777 con veintinueve años de edad. Era un minueto con 176 compases (K.294) agrupados en 16 conjuntos de 11 compases cada uno. Para proceder a la composición se lanzaban 2 dados y se sumaban los resultados (11 posibles; del 2 al 12). El minueto se componía con 16 tiradas de los dados y averiguaríamos los compases a escribir, mediante 2 tablas de 8x12. [https://imslp.org/wiki/Musikalisches_W%C3%BCrfelspiel,_K.516f_\(Mozart,_Wolfgang_Amadeus\)](https://imslp.org/wiki/Musikalisches_W%C3%BCrfelspiel,_K.516f_(Mozart,_Wolfgang_Amadeus)).

³² Desarrollos narrados con acierto en *Cryptonomicon*, de Neal Stephenson y *The Difference Engine*, de William Gibson y Bruce Sterling.

3.1 El nacimiento de una nueva estética de arte computacional

El arte computacional surge desde distintos antecedentes, artísticos, teóricos y tecnológicos. Emerge en distintos lugares del mundo en paralelo. Los distintos focos mantienen contactos y comparten experiencias y maneras de hacer, aunque también diferencias estéticas y conceptuales. El CCUM se incorpora a esta escena internacional en su comienzo gracias a sus seminarios, y se convierte en un centro pionero en la creación del primer arte computacional, con un modo de funcionamiento excepcional que potencia el trabajo de artistas en un centro de investigación científica. En él surgen algunos proyectos singulares, con un carácter propio y específico, sin equivalentes en otros centros de investigación y creación en todo el planeta. Para comprender su relación con la esfera internacional analizaremos las primeras actividades conocidas de arte realizado mediante ordenadores digitales.

En 1965 suceden las tres primeras exposiciones de arte hecho con ordenador: George Nees en la Universidad de Stuttgart, A. Michael Noll y Bela Julesz en la Howard Wise Gallery de Nueva York y Frieder Nake y Georg Nees en la Galerie Wendelin Niedlich en Stuttgart. Estos investigadores comienzan sus experimentos unos pocos años antes: Noll en 1962, Nake en 1963 y Nees en 1964. Son los primeros artistas que exploran las posibilidades de los ordenadores digitales.

La exploración de formas generadas por ecuaciones matemáticas se había iniciado con anterioridad mediante ordenadores analógicos: Ben F. Laposky en Iowa en 1952, Herbert W. Franke en Austria en 1959, Kurd Alsleben en Hamburgo en 1960 y John Whitney en los 50s. Estos dispositivos, diseñados para calcular la trayectoria de misiles y problemas similares de física y matemáticas aplicadas, producen gráficos interesantes en pantalla o papel, figuras de curvas complejas, y pronto despiertan la curiosidad de artistas visuales que son capaces de comprender el potencial artístico de estos dispositivos (Franke, 1971).

La inquietud por imágenes producidas por ecuaciones matemáticas, como base de la belleza en el mundo, llevaba tiempo propagándose. Las ideas de crecimiento natural basado en fundamentos matemáticos (D'Arcy Wentworth Thompson, 1917) y una estructura matemática en las artes (Joseph Schillinger, 1948) se habían asentado, impulsando la búsqueda de su formalización en imágenes. Hay que destacar el trabajo que inicia Laposky como aficionado, fotografiando el trazo de péndulos y otros sistemas mecánicos primero, para pasar (tras la lectura de un ejemplar de *Popular Mechanics*) a trabajar con osciladores y circuitos electrónicos para fotografiar la imagen formada

sobre un osciloscopio. Su trabajo, ampliamente difundido en la época en prensa y exposiciones, tendrá gran influencia sobre multitud de creadores, especialmente en los Estados Unidos. Estas imágenes de curvas complejas serán ampliamente conocidas, representando la modernidad y el desarrollo tecnológico, ese futuro prometedor al que la ciencia nos conducía. En diversos centros de investigación equipados con ordenadores comienzan a explorar la creación de gráficos semejantes, como es el caso de los Laboratorios Bell.

En Europa, las teorías de Wittgenstein van formando unas bases de pensamiento que contribuirán al nacimiento de la lingüística moderna. Buscando una base universal en las estructuras del lenguaje, exploran sistemas formales, la lógica y sus fundamentos matemáticos. Wittgenstein trataba de establecer una filosofía de la ciencia, combinando las herramientas de la lógica formal y sus bases matemáticas con la epistemología empírica de las ciencias naturales. Esta escuela de pensamiento lleva a diversos científicos a explorar las posibilidades estéticas de funciones y procesos lógicos, en mecanismos de transformación, así como las posibilidades de la introducción de factores aleatorios en procesos deterministas. Max Bense parte de estas ideas y tiene un papel clave en el primer arte computacional al potenciar desde su universidad las primeras exposiciones de imágenes artísticas creadas y producidas mediante un ordenador. Las primeras obras generadas en Alemania por Nake y Ness parten de este caldo de cultivo, centrándose en la visualización de estructuras matemáticas complejas como las propiedades de las series de números, o las transformaciones de matrices. Este campo llega a conocerse incluso como la rama de «matemáticas visuales» (Taylor, 2014).

Esta corriente artística europea se siente heredera de los movimientos de abstracción matemática, especialmente el constructivismo y la abstracción geométrica. Los artistas que exploran la creación de formas mediante ordenador continúan las ideas de De Stijl y la Bauhaus, y se consideran neo-constructivistas. Encuentran en este modelo de creación desde estructuras formales y relaciones matemáticas un espacio adecuado para la exploración mediante las nuevas herramientas que proporcionan los ordenadores digitales. El constructivismo y la abstracción geométrica no son ideas nuevas en el campo del arte, pero hallan un campo de desarrollo inesperado en la nueva ciencia de la computación, y en la capacidad de los nuevos dispositivos para generar imágenes desde números y procesos matemáticos.

Estas dos escenas iniciales, la europea y la norteamericana, pronto entran en contacto mediante viajes y exposiciones conjuntas, y su producción tiene una rápida difusión a nivel mundial, potenciando la aparición

de nuevos investigadores en casi todos los lugares donde un ordenador está disponible para la experimentación. Los centros que IBM está instalando en diversas ciudades del mundo son algunos de los lugares donde esta tecnología está disponible. París, Zagreb, Milán, Tokyo, Nueva Delhi, Madrid y varias ciudades de los Estados Unidos son los lugares donde se desarrolla este trabajo de investigación artística con resultados más destacados.

Se estaba gestando una primera ola de desarrollos artísticos explorando modos de procesamiento computerizados. Leslei Mezei describe el clima justo antes de la primera gran exposición internacional, un clima de curiosidad y descubrimiento. Artistas, ingenieros y aficionados exploran las posibilidades de la transformación numérica, el azar controlado y los recursos matéricos de los distintos dispositivos de salida:

About a dozen exhibits of «computer art» have been already held, produced mainly as a hobby. (See Bibliography, CHum, I. [1967], 154-156.) Michael Noll pioneered with two- and three-dimensional computer-generated movies. His variations on Piet Mondrian's «Composition with Lines» created quite a stir. Maugham Mason produced fascinating Moire-like patterns on an analogue computer. Frieder Nake and Georg Nees in Germany generated many interesting random abstract designs. Jack Citron's work (see CHum, I [1967], 223) is representative of the computer art generated by mathematical formulae. Charles Csuri (*ibid.*, pp. 240-241) introduced representational art, such as his «Metamorphosis,» in which the face of a young woman dissolves gradually and is transformed in, to the face of an old woman. Leslie Mezei *ibid.*, p. 240) has been using Canadian national symbols such as the maple leaf and the beaver for studies in «controlled randomness» in art. H. P. Peterson's «Digital Mona Lisa» graces many a wall in the computer industry. The painting was scanned and transformed into digits by a computer and plotted by a mechanical plotter. A major international exhibit entitled «Cybernetic Serendipity» is being prepared by The Institute of Contemporary Art in London for 1968. (Mezei 1967)

El arte computacional es polémico desde sus comienzos, siendo mal aceptado en los circuitos artísticos convencionales. Max Bense tiene que acallar las críticas y el enfado generalizado entre la comunidad artística en la primera exposición de arte producido con ordenador en la galería de su universidad en Stuttgart, ex-

plicando que se trata tan solo de «arte artificial», y que por lo tanto no hay que preocuparse por la posibilidad de que albergue creatividad propia (*sic*).

Es un arte que surge fuera de los círculos oficiales, asociado a ideologías dominantes, a la industria belicista y de control gubernamental. Se le reprocha su factura impersonal, el hecho de que la realice una máquina, como antes se rechazó la fotografía por su carácter mecánico.

In 1964, the same year that computer art first entered the cultural sphere, influential cultural theorists, Jaques Ellul, Herbert Marcuse and Marshall McLuhan produced influential publications that in different ways were critical of technology. (*ibid.*)

Ingenieros, artistas y aficionados se entusiasman con las posibilidades creativas de estos sistemas. Sin embargo, pensadores e intelectuales reaccionan en contra, cuestionando sus implicaciones sociales, culturales y políticas. Estamos viviendo el ambiente cultural que conduce a *Mayo del 68*, radicalizado y enfrentado a los mecanismos de poder del sistema. Cualquier complicidad con esas entidades se considera sospechosa.

Los pioneros del arte computacional son sobre todo científicos, matemáticos y técnicos, aunque algunos provienen de la escena del arte de vanguardia. Quedan marginados a lo largo del siglo XX como una excepción o una curiosidad incómoda. No será hasta el nuevo siglo, cuando toda la sociedad y la cultura se ven totalmente transformadas por la revolución digital y aparecen nuevas generaciones nacidas en el nuevo contexto cultural, que la idea de arte se vea transformada por las nociones de post-digital (Cramer, 2014) y aceptada como el nuevo modelo que representa esta nueva etapa de la humanidad (Alexenberg, 2011).

3.2. Antecedentes

Diversas corrientes de pensamiento y avances tecnológicos fueron construyendo un sustrato sobre el que las obras de arte computacional pudieron emerger. La Teoría de Sistemas de Bertalanffy, el positivismo de Wittgenstein, la estructura matemática en las artes de Joseph Schillinger, los modelos de información de Shannon, el estudio de los *media* de MacLuhan, la gramática generativa de Chomski, la estética computacional de Max Bense fueron los pilares conceptuales que formaron el pensamiento de artistas y pensadores de la época.



Figura 35. Cuadro colgado en el despacho de dirección del Centro de Cálculo en homenaje a Ada Lovelace.

El desarrollo de las máquinas capaces de realizar cálculos automáticos, desde el Telar de Jacquard y sus tarjetas perforadas, el sistema de codificación de Ada Lovelace, la máquina diferencial de Babbage, la arquitectura de Von Neumann, la máquina universal de Turing y su desarrollo en Bletchley Park, las válvulas de vacío y los transistores y todos los adelantos técnicos impulsados por los conflictos bélicos contribuirían al desarrollo de los primeros ordenadores programables, abriendo la posibilidad de que artistas y científicos interesados en estas ideas pudieran explorar su implementación práctica, produciendo imágenes y formas con mecanismos computables.

Los grandes conflictos bélicos de principios del siglo XX impulsaron el desarrollo de diversas tecnologías que luego se extendieron a diversos usos civiles. Los primeros ordenadores digitales nacieron en este contexto, lo cual marcó negativamente su imagen en determinados contextos culturales. Direccionamiento de misiles, radar, encriptación, censo y control de la población, modulación y síntesis de sonido para las comunicaciones,

redes, geoposicionamiento y tantos otros avances apresurados dentro de la tecnología militar constituyen el sustrato de nuestra sociedad de la información y de la imagen, los cimientos del mundo digital.

3.2.1. *Telar de Jacquard, imagen y código*

El telar, tecnología ancestral para la producción de tejidos, tiene una gran importancia en el desarrollo de la tecnología de computación. En 1801 Joseph Marie Jacquard inventa un telar que puede funcionar de forma automática, basándose en el modelo concebido por Basile Bouchon en 1725, también en Lyon, que empleaba tarjetas perforadas para definir los motivos del tejido. Presentado en París, pronto tiene un gran éxito y es precursor de la revolución industrial textil. Supone un primer paso para introducir información codificada en un sistema mecánico. El sistema de tarjetas perforadas es pionero en el uso del sistema binario, ya que cada elemento de información, representado por un orificio o por su ausencia, constituye una unidad binaria de información, un bit.

Hay que destacar que en estos orígenes de la codificación de la información participan mecanismos de dos disciplinas artísticas: el telar es un dispositivo que produce telas con diseños visuales. Bouchon, hijo de un organista, parte de los modelos de cuadrícula sobre papel empleados para definir información musical. En estos orígenes de la computación encontramos ideas y tecnologías provenientes de la generación de imágenes y música, una relación que será constante en el desarrollo de estos sistemas. Lev Manovich, en *The Language of New Media* (2000) destaca esta relación en su libro fundamental sobre la nueva cultura digital. Los ordenadores actuales, con toda su potencia, sus sistemas operativos basados en la interacción visual, son en realidad dispositivos que convierten información codificada digitalmente en imágenes y sonidos, del mismo modo que esos primeros telares que empleaban tarjetas perforadas producían imágenes conformadas sobre el tejido, y a cómo las pianolas producían música desde cartones con perforaciones.

La idea del ordenador como dispositivo tejedor de imágenes contiene un gran potencial poético, relacionando estas tecnologías contemporáneas con una práctica ancestral, tradicionalmente relacionada con lo femenino, y con fuertes connotaciones oníricas. El mito de Atenea y Aracne y su habilidad tejiendo, Penélope y el tapiz, Ariadna, las Moiras... el hilo de la vida, tejedoras de sueños son ideas e imágenes muy potentes que conforman una parte

importante de la cultura de occidente y no pueden disociarse del tejido y las técnicas para producirlo.

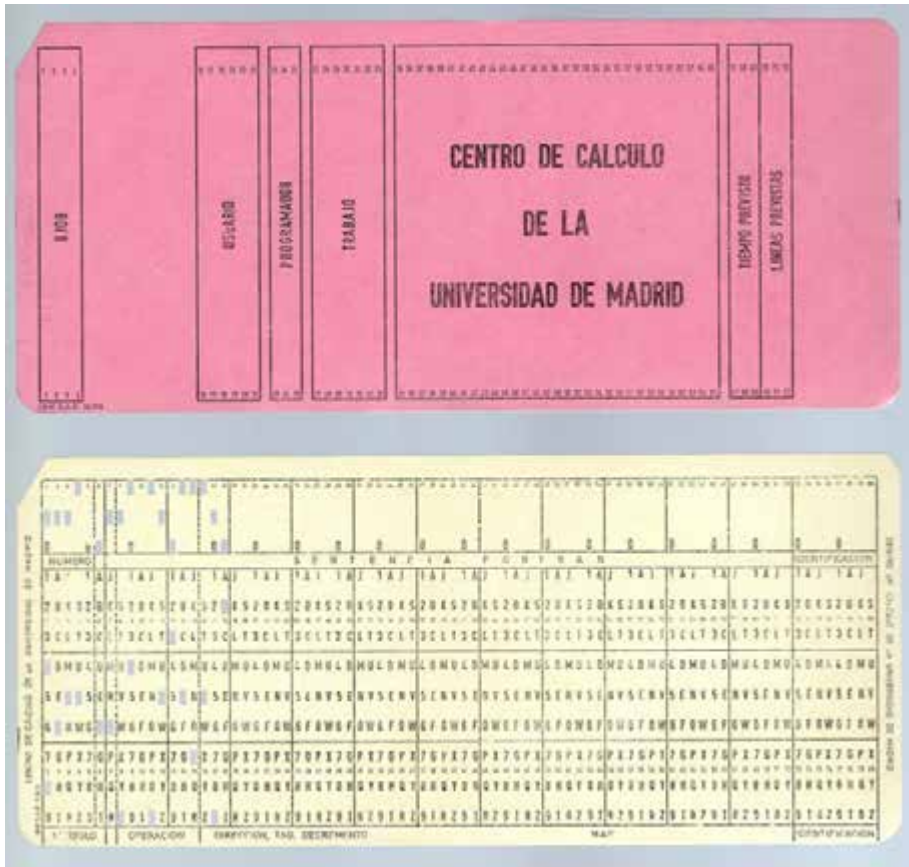


Figura 36. Tarjetas perforadas del Centro de Cálculo.

Gurdjieff nos trasmite el simbolismo de las alfombras tejidas a mano en oriente, los patrones de la vida y el destino. El tejido colectivo unido a la danza y la música. La alfombra tejida con patrones intrincados que representan las vicisitudes de la vida, el desarrollo hacia una conciencia superior. Pamela L. Travers, autora de *Mary Poppins* y discípula de Gurdijieff, recoge este simbolismo en sus libros (Slavova 2018).

Ada Lovelace es reconocida como la primera programadora, con su trabajo para la máquina analítica (o diferencial) de Babbage, desarrollando la idea de un conjunto de datos junto a un sistema de instrucciones lógicas con el que

procesarlos. Fascinada por el telar de Jacquard, en sus notas sobre el uso de la máquina analítica introduce, en la Nota G, la idea las operaciones mediante las cuales las tarjetas perforadas tejerían una secuencia de números y operaciones de procesamiento.

En el Centro de Cálculo una imagen presidía la sala de reuniones: un supuesto retrato de Ada Lovelace. Los asistentes a los seminarios compraron un cuadro al óleo en el rastro y pegaron una tarjeta en la mano de la mujer retratada, convirtiéndola simbólicamente en la musa de los programadores, Ada Lovelace.

La incorporación de Ana Buenaventura al Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas trajo el diseño de tejidos a la computadora. Fueron varios los artistas que generaron formas automáticamente para la industria textil, en la Biblioteca Nacional de España se guardan algunas telas diseñadas por Soledad Sevilla.

3.2.2. Cibernética

La Cibernética es un concepto fundamental en el surgimiento de las corrientes de pensamiento que conducen al arte computacional. Es un término acuñado por Platón para referirse a la conducción de un estado, del término *kubernetes*, navegación. Norbert Wiener le asigna el significado moderno en su libro de 1948 *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*. Se refiere a los mecanismos de comunicación y autocontrol que rigen los comportamientos de las máquinas y los seres vivos. Estos organismos reciben información de su entorno y reajustan sus acciones para adaptarse a esas condiciones, en un proceso continuo de realimentación. Esta idea de realimentación o *feedback* impregna profundamente todas las disciplinas de la época, tanto técnicas como sociales.

Los artistas recogen la idea de realimentación cibernética y la incorporan progresivamente en sus creaciones en los 50s y 60s. La realimentación adaptativa se realiza mediante artilugios mecánicos o mecanismos procesuales: móviles que interactúan entre sí, desarrollo de imágenes mediante reglas que condicionan el proceso y su resultado. Los ordenadores digitales todavía no están disponibles, pero la mecánica y la electrónica analógica permiten la exploración de procesos de realimentación e interacción, basados en estos modelos cibernéticos (Mason, 2018).

Robert Mallary, artista norteamericano pionero en el campo de la escultura generada desde procesos computacionales, describe el inicio de la cibernética

y sus aplicaciones en la creación artística, primero en la música y luego en las artes visuales en cuanto es posible una salida gráfica. Está hablando principalmente de la escultura y sus posibilidades para el nuevo arte cibernético:

Cybernetics is an interdisciplinary science, first proposed by Norbert Wiener, the brilliant MIT mathematician, in the late forties, linking together such topics as information theory, control systems, automation, artificial intelligence, computer simulated intelligence and information processing. Cyberneticians generally make a distinction between artificial intelligence, in which a computer is programmed to perform logical or perceptual operations in the manner it can best perform them using its own natural machine *language*, and simulated intelligence, in which the programmer uses the computer to imitate the ways he believes these operations take place inside The human head.

Composers were the first to sense the cybernetic potential of the computer and to grasp its implications for art. In 1955 Legaren A. Hiller and his associates at the University of Illinois began to use the ILLIAC computer to compose music. When computer graphics emerged about five years later it was almost immediately apparent that the computer, together with the plotter, could be used to make drawings of esthetic as well as technical and scientific value. Use of the cathode ray tube (CRT display) further expanded these pictorial possibilities. In recent years computer graphic techniques have been applied to a variety of arts including choreography, abstract films and even to architecture. More recently they have been applied to sculpture as well. (Mallary 1979)

Partiendo de la composición musical mediante reglas, se extiende a la creación de imágenes en la pantalla de tubo, a la coreografía, el cine y la arquitectura, llegando a la escultura. La idea de cibernética se expande hacia un concepto de inteligencia computacional, capaz de tomar decisiones creativas.

Este texto resulta muy interesante porque desde el mismo comienzo de la tecnología digital el autor es capaz de anticipar las distintas etapas de desarrollo de los sistemas cibernéticos, anticipándose a la inteligencia artificial y su desarrollo actual y a los problemas a los que comenzamos a enfrentarnos sobre creatividad, inteligencia, consciencia y computación con sistemas autónomos. Estamos cerca ahora en 2020 de los últimos estados de la cibernética que imagina Mallary, el quinto y sexto estados, en los que la pieza es autónoma y es capaz de tomar decisiones por si misma, incluso en cuestiones que requieren creatividad, sin intervención del ser humano.

3.2.3. Esculturas interactivas

Las primeras creaciones con ordenadores digitales se realizaron introduciendo datos y código mediante tarjetas perforadas en unas máquinas que carecían de pantalla. Los resultados se obtenían en papel, bien en forma de caracteres por impresora o trazados por un *plotter* (instrumento que utiliza rotuladores o bolígrafos movidos con motores para dibujar sobre papel). Por eso resulta sorprendente encontrar esculturas interactivas en las primeras exposiciones de arte hecho con ordenador, junto a estas primeras obras gráficas. Es importante comprender que están realizadas mediante sistemas analógicos, no digitales.

La interactividad en el arte digital necesita equipos mucho más potentes, capaces de obtener datos de su entorno y generar respuestas en tiempo real. Estos sistemas no han existido hasta finales del siglo XX, así que ¿cómo consiguieron idear y realizar aquellas primeras esculturas interactivas en los años cincuenta?

Estas piezas interactivas fueron posibles por el empleo de unos sistemas denominados computadores analógicos, un concepto que hoy en día resulta casi una contradicción en los términos. Estos sistemas utilizaban la electricidad para realizar cálculos: sumas, comparaciones, multiplicaciones... Estaban basadas en los principios de la Cibernética que postuló Wiener, mecanismos de autoregulación en dispositivos. Estas ideas nacieron de la balística, mecanismos para la auto-corrección del rumbo en la dirección de misiles. Tienen una aplicación doméstica en los termostatos de las calefacciones eléctricas. Con estos mecanismos, que intentan alcanzar un estado estable, era posible construir esculturas dotadas de movimiento que respondieran a los cambios en su entorno.

En 1956 Nicolas Schöffer desarrolla CYSP 1, una escultura cinética. El sistema es capaz de reaccionar ante las acciones del público, produciendo luces, sonidos y movimientos. Charles Mattox realiza esculturas kinéticas, que producen sonidos, mediante diseños simples pero muy eficaces³³. Edward Ihnatowicz y Gordon Pask exponen esculturas cibernéticas en *Cybernetic Serendipity*. Demuestran las posibilidades de interacción de obras tridimensionales que reaccionan a las acciones de los visitantes, con las posibilidades que permite la tecnología de la época. Este tipo de desarrollos parece el futuro

³³ Charles Mattox, profesor en la Universidad de Nuevo México, será el editor americano de la revista *Leonardo*, dedicada a la relación entre arte y ciencia y de gran relevancia en el desarrollo del arte con ordenador.

del arte, por sus posibilidades generativas y sus dimensiones multimediales y objetuales.

In fact, as the PULSA group at Yale University has already demonstrated, one of the most valuable applications of the computer is to optimize the interactions within kinetic light-and-sound environmental systems. They are programming kinetic episodes of light and sound into set, reproducible scenarios using computer-made tape to control the output of the system. They are also reshuffling at random the sequence of the episodes while leaving their unit characteristics unchanged, thus introducing an element of unpredictability into the proceedings. Great variety and interest is achieved in their system through the use of transformation and over-layer variables in the programming, as well as through the use of relatively autonomous subsystems (phosphors, etc.), to generate endless patterns and permutations— achieving thereby a continuous morphology of spatial imagery-plus-sound.

According to Jack Burnham, in his book *Beyond Modern Sculpture*, kinetic art will eventually simulate living systems, sharing with them their autonomy and self-organizing characteristics as well as their ability to interact dynamically with their surroundings. It seems likely that in these complex processes, the computer will serve as both monitor and processor to structure the visual, auditory and possibly tactile output and insure optimum interest and esthetic quality. (Mallery 1979)

El arte cinético y su expansión mediante la cibernética parece una promesa para alcanzar el arte con vida artificial, el germen de los sistemas emergentes y el arte generativo e interactivo inteligente. Promete un arte basado en sistemas autónomos capaces de interactuar con el humano en todos los niveles sensoriales simulación de seres vivientes. La cibernética parece el comienzo del camino hacia la inteligencia artificial, y el nacimiento de grandes organismos computacionales sensibles e inteligentes parece inevitable. Recordemos a HAL9000³⁴ y sus complejas relaciones con los humanos en *2001: Una odisea del espacio*. En 2020 la IA se ha apoderado de las redes y los servicios que utilizan consumidores y corporaciones, acercándose a esas visiones un poco distópicas del futuro tecnológico.

³⁴ Computadora/personaje de la película de Stanley Kubrick, *2001 A Space Odyssey*, 1968.

3.2.4. *Arte cinético*

Este tipo de estructuras móviles tienen su origen en el arte cinético, que surge con las vanguardias. Tras las huellas del Futurismo, el constructivismo especialmente entiende el potencial de las máquinas y estructuras industriales para la creación. Tras estas obras pioneras a comienzos del siglo veinte surgen nuevos artistas que recogen esas ideas y tratan de explorar las posibilidades creativas del movimiento, especialmente en sus resultados visuales. El movimiento de arte cinético es importante en la década de los cincuenta del siglo pasado, y sienta una base estética y conceptual para las primeras imágenes que producirá el primer arte digital.

Las esculturas de Jean Tinguely y su exaltación de la estética de la máquina tendrán un impacto importante al propagarse internacionalmente con su presencia a finales de los años 50 en Londres y Nueva York. Dentro de este espíritu general de valoración de la máquina se produce en el MOMA la exposición «The Machine as Seen at the End of the Mechanical Age» en 1968. Ilustra las conexiones históricas entre arte y tecnología. El curador K.G. Pontus Hultén habla en el catálogo de cómo la máquina mecánica se ve desplazada por la electrónica:

the mechanical machine – which can most easily be defined as an imitation of our muscles – is losing its dominating position among the tools of mankind; while electronic and chemical devices – which imitate the processes of the brain and the nervous system – are becoming increasingly important. (Hultén 1968)

Junto a las máquinas de Leonardo y todos los experimentos de las vanguardias aparecen en esta exposición algunas de las primeras creaciones por ordenador, insinuando el futuro desarrollo de esta relación con la nueva tecnología. Coincide temporalmente con la primera gran exposición de arte computacional, *Cybernetic Serendipity*.

3.2.5. *Independent group*

El grupo de artistas jóvenes del *Institute of Contemporary Art* de Londres trabaja en los primeros años 50 con las ideas de cibernética de Wiener, las teorías de la información de Claude Shannon, los conceptos de John von Neu-

mann y la idea de crecimiento orgánico de D'Arcy Wentworth Thompson. Este grupo de artistas, Richard Hamilton, Reyner Banham, Eduardo Paolozzi, Peter y Alison Smithson y Theo Crosby trabajan con las conexiones entre estas nuevas teorías de la ciencia con los procesos sociales y su implicación en los medios de comunicación y el arte.

De este grupo es de destacar la exposición *This Is tomorrow*, en 1956³⁵. Concebida como un trabajo colaborativo multidisciplinar, algo nuevo para la época, trata de abordar la complejidad de la nueva sociedad con los adelantos tecnológicos y la cultura de masas desde una unión de arquitectura, arte y música. El formato de pabellón abarrotado de propuestas visualmente dispares sienta el formato para la exposición *Cybernetic Serendipity*.

3.2.6. Alan Turing y Bletchley Park

El trabajo de Alan Turing en Bletchley Park, en plena Segunda Guerra Mundial, tratando de decodificar los mensajes del ejército alemán, llevó a la construcción de los primeros ordenadores universales. Las máquinas que decodificaban Enigma eran todavía electro-mecánicas y construidas para un único propósito, pero fueron el origen de los nuevos ordenadores programables. Ya después de la guerra, en los laboratorios de Manchester Alan Turing con Freddie Williams y Tom Kilburn desarrollan el primer ordenador electrónico universal, denominado Mark I. La versión comercial, fabricada por Ferranti, será el Mark II. Incluía en su software un método para generar avisos de error mediante señales acústicas, o pitidos. El ingeniero Christopher Strachey se da cuenta de su potencial y lo emplea para crear la primera pieza de música generada por ordenador en 1951. (Copeland y Long 2018) Se adelantan por tanto a los primeros sonidos producidos en los Laboratorios Bell en 1954, que suelen citarse como inicios del sonido producido por ordenador.

3.3. Primeras imágenes generadas por ordenador en pantalla

Cuando aparecen los primeros ordenadores en los centros de investigación de la industria o la universidad, comienza a generarse la inquietud por crear

³⁵ <https://www.whitechapelgallery.org/exhibitions/this-is-tomorrow/>

imágenes y producir arte. Es una tendencia que se desarrolla en paralelo en los distintos centros con acceso a un computador: Alemania, Inglaterra, Nueva York, Italia, Yugoslavia, España.

Los grandes ordenadores, que en sus comienzos sólo pueden producir una salida de sus procesos mediante impresoras de caracteres, máquinas de escribir automatizadas, incorporarán pronto una pantalla de tubos catódicos capaz de ofrecer información en tiempo real. Este dispositivo cambiará radicalmente la relación del programador y del artista con el sistema, al abrir el camino para la transformación de parámetros y ajustes en tiempo real, sin necesidad de una predeterminación absoluta del proceso.

La pantalla de fósforo será fotografiada para capturar las imágenes resultantes de los programas introducidos. Esta técnica conecta pronto con el cine y la animación, al permitir la captura de una secuencia cambiante de imágenes.

Las pantallas son en un principio simples tubos catódicos con el haz de electrones controlado por el ordenador en sus dos ejes X e Y. Las imágenes se dibujan en su superficie mientras van desvaneciéndose lentamente, a la manera de la pantalla del radar o el sonar. Los planos técnicos que se generan mediante sistemas de arquitectura o ingeniería se materializan como imágenes fantasmagóricas, nunca completas y en permanente estado de desaparición. Los primeros programas de CAD utilizan este sistema de visualización, planos fantasmagóricos que desaparecen mientras se van formando.

Estas pantallas de dibujo vectorial serán sustituidas por pantallas con tecnología similar a la de la televisión, un medio que se consolida y perfecciona técnicamente en esos años. El haz de electrones recorre ahora la pantalla mediante líneas paralelas, en un barrido continuo. Este sistema conducirá al concepto de píxeles, una pantalla con estructura predeterminada en una rejilla discreta, elementos de imagen aproximadamente cuadrados que constituirán los elementos con los que podemos representar cualquier texto o dibujo.

Vectores y *bitmap* aparecen ya como dos modos de concebir y representar imágenes, con cualidades diferenciadas y antagónicas. Sólo el perfeccionamiento de la pantalla con resoluciones cada vez más altas permitirá diluir esta diferenciación estética, tan marcada en estos inicios de la imagen digital y rescatada ahora por corrientes estéticas nostálgicas.

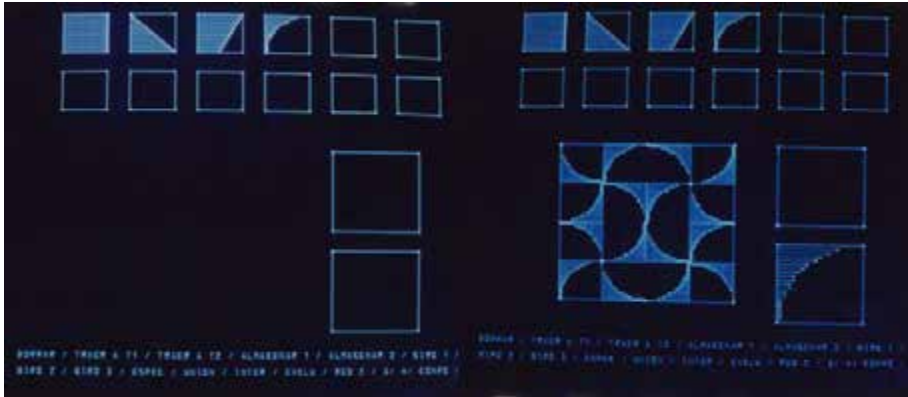


Figura 37. Representación en pantalla de pintura modular de Barbadillo.

3.4. Dibujando con *plotters*

La entrada de datos en los primeros ordenadores digitales podía realizarse mediante una serie de interruptores para cada bit, o automatizarse con las tarjetas perforadas inspiradas en los telares de Jacquard. La salida de los resultados de los cálculos resultaba otro asunto complejo, para el que se fueron encontrando diversas soluciones. Lejos de la capacidad gráfica de los telares, los primeros ordenadores se centran en ofrecer información textual y numérica: secuencias de caracteres impresos sobre papel. Las impresoras de caracteres, basadas en las máquinas de escribir mecánicas, se perfeccionan para poder imprimir caracteres de forma automática, estableciendo una correspondencia entre los números procesados y los caracteres impresos.

Cualquier información gráfica se obtenía en estos primeros tiempos como una secuencia de coordenadas, que tenían que dibujarse o modelarse a mano para obtener imágenes o formas tridimensionales³⁶. Este trabajo resultaba lento y tedioso, sin embargo, generó obras importantes ya que los artistas se sentían atraídos por ese juego manual que iba desvelando el resultado poco a poco, como parte de un proceso.

Aprovechando estas impresoras de caracteres se inventa pronto una manera de lograr imágenes gráficas, recurriendo a una técnica ya empleada a mano en las máquinas de escribir. Las impresoras pueden dibujar imágenes de baja

³⁶ Alexanco emplea coordenadas polares para introducir los datos de las formas tridimensionales en su obra.

resolución con los caracteres disponibles, utilizados como elementos primarios según su nivel de oscuridad aparente.

El *plotter* aparece como un dispositivo con grandes posibilidades para la generación de imágenes por ordenador: un sistema articulado por motores es capaz de trazar dibujos mediante plumas o rotuladores sobre papel, empleando líneas continuas o puntos. Evidentemente apropiado para el dibujo de planos técnicos para la ingeniería o la arquitectura, es pronto utilizado para la generación de imágenes artísticas. (Sher, 2018)

Las primeras imágenes expuestas como obra artística por Georg Nees y Frieder Nake se realizaron con el *plotter* ZUSE Graphomat Z64. CalComp, fabricante de California, convoca un concurso de arte realizado con *plotters*. Bell Laboratories utiliza el SC-4020, un *plotter* que traza las imágenes sobre microfilm, lo que permite realizar animaciones para cine. El *plotter* aparece como un dispositivo versátil capaz de realizar imágenes con un aspecto limpio y racional, perfecto para la nueva estética computacional. La disponibilidad de uno u otro aparato en cada centro de investigación posibilita la creación de imágenes con distintas características formales.

3.5. Ordenadores analógicos: animaciones en pantalla

Otra corriente del arte computacional que puede sorprendernos es el de las animaciones para cine y televisión. En un momento en el que los primeros ordenadores no tienen ni siquiera una pantalla, y en que tardarán décadas en adquirir la capacidad de generar gráficos animados de una mínima calidad, encontramos trabajos importantes que producen imágenes animadas innovadoras destinadas a la industria del cine y televisión. Algunos de estos trabajos pioneros se recogen en la exposición *Cybernetic Serendipity*.

La animación mediante ordenador fue posible mediante la utilización de los ordenadores analógicos, unos sistemas que en ese momento habían alcanzado un alto nivel de desarrollo. En nuestra época resulta casi un oxímoron el término «ordenador analógico», ya que la tecnología se ha decantado por el modelo digital. En aquella época los nuevos componentes electrónicos (válvulas, luego transistores) permitían la fabricación de circuitos analógicos de gran precisión. Estos circuitos electrónicos podían sumar, restar, multiplicar, comparar diversas señales, ofreciendo el resultado de los cálculos sobre una pantalla de fósforo. Estos ordenadores analógicos se asemejan más a los sintetizadores analógicos modulares de sonido que a los ordenadores de hoy. Eran

empleados para resolver cuestiones matemáticas y físicas de difícil cálculo, como ecuaciones diferenciales. Podían emplearse por ejemplo para calcular la trayectoria de un misil.

El hecho de que estos aparatos contaran con una pantalla en la que se dibujaban los resultados del cálculo en forma de curvas trazadas por el cañón de electrones sobre la superficie de fósforo invitó inmediatamente a su uso para crear imágenes artísticas. Estas curvas trazadas sobre la pantalla, la visualización de funciones matemáticas, aparecían por primera vez generadas de forma automática. Los ingenieros y científicos que utilizaban los sistemas pronto sintieron la necesidad de explorar sus posibilidades artísticas y expresivas, más allá de su uso funcional.

La pantalla puede fotografiarse para capturar esa imagen evanescente. Con un filtro podemos lograr imágenes en color. Mediante una secuencia de fotos podemos generar animación e imagen en movimiento. Estos recursos se incorporaron rápidamente al cine experimental y a efectos para títulos de crédito en el cine comercial. (Ulmann, 2013)

Algunos de los ejemplos más destacados son:

En 1950 **Benjamin Francis Laposky** comienza a fotografiar la pantalla de su osciloscopio modificado, para capturar las imágenes. Crea una serie de obras que llama *Oscillons* (Laposky, 1953).

Mary Ellen Bute crea *Abstronic*, una película abstracta, en 1952, en los laboratorios Bell, fotografiando el osciloscopio.

John Witney emplea un sistema de guía de misiles unido a un péndulo para crear la animación de curvas en los títulos de crédito de la película *Vértigo*, de Alfred Hitchcock. (McCormack, 2013). Se trata en realidad de un ordenador analógico de funcionamiento totalmente mecánico, en el que el movimiento pendular permite trazar trayectorias. Modificado para que deje un trazo de pintura a su paso, producirá así la imagen emblemática de *Vértigo*. Pronto pasa a utilizar un osciloscopio y circuitos electrónicos para posteriores experimentos.

Herbert W. Franke utiliza un sistema de ordenador analógico construido por Franz Raimann en 1959 para la producción de imágenes de curvas complejas de una calidad excepcional. Sus trazados de curvas parecen estudios de movimiento, y al mismo tiempo estudios de formas escultóricas. Escribirá además algunos de los textos de referencia sobre arte y ordenadores, estableciéndose como autoridad en Europa con su trabajo académico.

La fotografía de la pantalla es desde el comienzo una solución ingeniosa que permite crear animaciones en formato de película cinematográfica, ade-

lantándose con mucho al vídeo digital, que tardará décadas en llegar. Hoy olvidada por la consolidación de sistemas de impresión de alta calidad, tuvo gran importancia en las primeras décadas del arte digital al posibilitar la materialización de imágenes de calidad fuera del ordenador³⁷.

3.6. Militares y aficionados

En la base militar de SAGE se logra dibujar una imagen de una modelo *Pinup* sobre la pantalla de un sistema de defensa, entre 1956 y 1958 (Edwards 2013). Es quizás el primer gráfico figurativo producido mediante un osciloscopio, generado sin intenciones funcionales.

En el número de enero de 1963 de la revista *Computers and Automation* aparece una imagen de ondas rojas sobre fondo negro, de Ebram Arazi, técnico en el MIT. La describen como una pieza de surrealismo electrónico. Los editores se muestran excitados por este nuevo tipo de imagen: «The brush is an electron beam; the canvas, an oscilloscope; the painter, an electronic computer.» (Taylor, 2014) A partir del siguiente número abren un concurso anual de arte hecho por ordenador. La revista se convierte en un centro de encuentro y difusión para el creciente círculo de interesados por las posibilidades creativas del nuevo medio.

El primer y segundo premio de la primera edición del premio provenían del mismo centro militar, el *United States Army Ballistic Research Laboratories* (BRL), un instituto en el que se desarrolló el primer ordenador de propósito general: el ENIAC, así como otros dispositivos pioneros e innovadores. Las obras parten de cálculos realizados para la trayectoria de misiles. Imágenes técnicas con una función aplicada, los autores perciben desde el comienzo su atractivo visual y sienten la necesidad de mostrarlas. Desde diversos centros de investigación son enviadas para concursar y aparecer en la revista *Computers and Animation*.

En los laboratorios de la compañía Boeing se producen algunas de las primeras imágenes sobre pantalla alrededor de 1960. El diseñador William Fetter realiza diagramas para la posición de los pilotos en la cabina, y denomina a estas imágenes *Computer Graphics*, acuñando el término.

³⁷ Polaroid comercializaba un sistema denominado *Palette* para poder realizar este tipo de imágenes, ya a partir de 1980.

Todas estas imágenes, aun de carácter técnico, se incorporan a las otras producciones de carácter artístico en las primeras exposiciones y publicaciones de arte por ordenador, algo que quizás contribuyó al rechazo de los poderes fácticos de la comunidad artística acerca de este nuevo arte.

3.7. Primer Arte Computacional en Alemania

En la Alemania de la posguerra, con el milagro de la industrialización y su apuesta por la tecnología, surge el primer grupo de creadores que emplean los primeros ordenadores digitales para crear obras artísticas. La Universidad de Stuttgart, en esa época todavía denominada Technische Hochschule Stuttgart, será el lugar donde estas condiciones favorables impulsan las primeras creaciones visuales con ordenador. Max Bense enseña allí filosofía y estética. Con una formación variada (estudios de filosofía, matemáticas, geología, física, teoría de la información, semiótica y cibernética) e intereses interdisciplinares, busca desde bases matemáticas una estructura en las artes y la estética. Alrededor de sus ideas surgen las primeras creaciones de imágenes generadas por ordenador, dibujadas en un *plotter*. Se reúnen las condiciones necesarias: ideas y planteamiento conceptual, acceso a un ordenador, y un aparato capaz de trazar dibujos sobre papel. En 1965 suceden allí dos de las tres primeras exposiciones de arte hecho con ordenador: George Nees en la Universidad de Stuttgart, y Frieder Nake y Georg Nees en la Galerie Wendelin Niedlich en Stuttgart (entre ellas sucede la primera de Noll, en Nueva York).

George Nees, matemático y físico, trabaja como matemático industrial en Erlangen, en el Siemens Schuckertwerk. Allí consigue que compren un *plotter* Zuse Graphomat Z64, diseñado por Konrad Zuse. Programando en ALGOL, crea gráficos, planos y diseños arquitectónicos. Estudia filosofía en la Universidad de Stuttgart en 1964 con Max Bense. Siente la tentación de utilizar el *plotter* para la creación de formas no aplicadas, exploración de motivos geométricos:

There it was, the great temptation for me, for once not to represent something technical with this machine but rather something ‘useless’ – geometrical patterns” (Nees 2006).

Comprende que el azar puede aportar un elemento creativo a la regularidad geométrica, y crea librerías de números aleatorios que utiliza para transformar una serie de formas desde el orden al desorden. Publica su tesis «Ge-

nerative Computergrafiken» en 1968, dirigida por Max Bense, la primera en el campo del arte computacional.

Frieder Nake estudia matemáticas en la Universidad de Stuttgart, donde asiste a conferencias de Max Bense sobre filosofía, semiótica y estética. Tiene su primer contacto con un ordenador en el Centro de Cálculo IBM de Böblingen. En 1963 comienza a trabajar como investigador en el Centro de Cálculo de la Universidad de Stuttgart, donde se encarga de conectar el sistema con el *plotter* recién adquirido, el ZUSE Graphomat Z 64. De estas actividades surge la primera exposición de arte producido con un ordenador digital, la *Computer-Grafik Programme* en la Wendelin Niedlich Galerie de Stuttgart, junto a Georg Nees. (Compart)

Encontramos unas interesantes reflexiones posteriores sobre estas primeras creaciones en un texto en el que el mismo Nake nos habla de un arte de aleatoriedad (Nake, 2005), de la programación de clases de objetos estéticos, en conexión con la estética de la información de los 60s (*Information Aesthetics*), de exploraciones acerca de los signos algorítmicos. Nos habla de cómo la primera exposición de arte computacional fue recibida con rechazo por la comunidad artística, ante lo cual Max Bense intentó calmar los ánimos alegando que era sólo «arte artificial». Trataba de defender la idea de «creatividad», algo que sólo puede ser humano y ha fundamentado el rol de artista.

Esta primera exposición fue acompañada de una publicación en Edition Rot, con explicaciones del proceso generativo en lenguaje comprensible, así como un texto de Max Bense a modo de manifiesto del arte computacional: *Projekte generativer Ästhetik (Projects of generative aesthetics)*. Notemos cómo utiliza al término «generativo» desde esta primera publicación, un término que definirá todo un campo, el arte generativo.

3.8. Laboratorios Bell

En los primeros 60s los Laboratorios Bell son un centro muy activo en la experimentación con nuevas tecnologías de sonido e imagen.

El centro surge en 1925 como un proyecto conjunto entre la Western Electric Company y la American Telephone and Telegraph Company (AT&T). Allí realizan investigaciones en los posibles usos de los ordenadores en las artes, con su enorme sistema GE600. Experimentan con sonido sintetizado, transmisión a distancia, inventan el *vocoder*, crean la primera música generada mediante un ordenador (después de los experimentos de Alan Turing y Christopher Stra-

chey ya referidos). Trabajan en la creación de imágenes sintéticas para el cine, las primeras animaciones generadas por sistemas automáticos. (Noll, 2014)

Se unen con los artistas que llegan de Europa (Ken Knowlton, A Michael Noll, Ed Zajac, Lillian Schwartz) para realizar exposiciones y crean el colectivo EAT (Experiments in Art and Technology) que trata de acercar a artistas e ingenieros en proyectos comunes. Realizan una serie de performances llamada *9 Evenings: Theatre and Engineering*, junto a Robert Rauschenberg en 1966, uniendo a 10 artistas y 30 ingenieros en eventos utilizando tecnología. (Dodds y Lenz, 2016)

La lista de artistas que realizan proyectos en las instalaciones de los Bell Labs es impresionante. Aglutinan a casi todas las fuerzas interesadas en esa parte del globo:

Claude Shannon, Ken Knowlton, Leon Harmon, Lillian Schwartz, Charles Csuri, A. Michael Noll, Edward Zajec, Laurie Spiegel, Nam Jun Paik, Stan VanDerBeek, y Billy Klüver, un ingeniero que con Robert Rauschenberg organiza el EAT.

Una obra que surge en el laboratorio casi como una broma se convierte en un icono del primer arte computacional. La imagen escaneada de un desnudo femenino se imprime a gran tamaño utilizando símbolos y caracteres de distinta densidad, resultando en una imagen que de cerca no puede percibirse y sólo cobra sentido con la distancia. Se trata de «Studies in Perception» (1967), de Leon Harmon y Ken Knowlton, conocida como «Nude».

En el verano del 62, Michael Knoll trabaja creando imágenes con el computador en los laboratorios Bell, en Murray Hill, Nueva York. Expone junto a Bela Julesz en 1965 en la Howard Wise Gallery, así como con Maughan Mason en la Fall Joint Computer conference en Las Vegas. Noll había comenzado a producir arte computacional tras ver los errores que generaba un *plotter* de microfilm (Stromberg-Carlson 4020). Impresionado por la estética visual del error, Noll se sintió inspirado para explorar sus posibilidades artísticas. Será uno de los pioneros del arte por ordenador junto a Nake y Nees, conocidos como las tres eses por la coincidencia en la inicial de sus apellidos.

Nam June Paik conecta con Fluxus en Alemania. Va a NY, a Bells, y Knoll le enseña a programar en el lenguaje Fortran, aunque luego no recuerda su trabajo. Desarrolla allí en 1967 dos piezas pioneras en el campo del arte computacional, casi olvidadas³⁸, pero luego desiste descorazonado por lo árido del proceso. Centrará su atención en el nuevo medio del vídeo y sus posibilidades para el arte.

³⁸ La imagen generativa «GOD, DOG, LOVE, HATE» y la película de animación «Digital Experiment at Bell Labs».

3.9. *Cybernetic Serendipity*

Cybernetic Serendipity fue la primera gran exposición internacional que abordó el trabajo artístico con las nuevas herramientas de cálculo y control. Se desarrolló en el London's Institute of Contemporary Arts en 1968, y luego estuvo en itinerancia por Estados Unidos (Washington, California...). Mostró colaboraciones entre artistas y científicos, en un intento de romper barreras y acercar disciplinas y campos de trabajo. En la exposición se mostraban máquinas, procesos y obras en un conjunto inclusivo y multidisciplinar. Reflejaba un espíritu optimista acerca de la tecnología y los beneficios que podría aportar a la humanidad.

En la muestra aparecían proyectos y obras de las principales disciplinas artísticas: música, coreografía arquitectura, diseño, escultura, gráfica, escritura. Se remarcaba la importancia de la interacción y la producción de contenido generativo. Máquinas capaces de dibujar, moverse, componer música, esculturas con movimiento, gráficos generados en pantalla formaban una colección que mostraba el potencial de transformación de las nuevas herramientas digitales, anticipándose a los cambios en todas las plataformas y procesos de producción que se producirían a finales del siglo XX.

El algoritmo como proceso para la creación encontraba un lugar destacado, asociado a partituras musicales, generación de patrones gráficos, texto en prosa y poesía, construcciones espaciales. La capacidad de cálculo de estos sistemas se empleaba para generar variaciones y permutaciones, visualizar datos y procesar todo tipo de información. Hay que destacar la variedad de sistemas y medios para la presentación de resultados que se mostraban en la exposición, sistemas que estaban en su primera infancia. Aun cuando la mayoría de los ordenadores de la época no contaban tan siquiera con una pantalla como dispositivo de salida, las obras presentadas producían gráficos, partituras, sonidos, textos, coreografías, esculturas, planos arquitectónicos e imagen cinematográfica.

La presencia más importante en la muestra estaba representada por esculturas cinéticas, dispositivos electro-mecánicos móviles e interactivos. El concepto de cibernética se mostraba a través de estas fabricaciones, ordenadores analógicos y otros objetos físicos contruidos con procesos algorítmicos. La producción de obra generada con ordenadores digitales estaba presente, pero en menor medida. (Mason, 2018)

La comisaria de la exposición, Jasia Reichardt, apostó por una visión utópica y optimista de la tecnología, consiguiendo el apoyo del gobierno

y grandes empresas para promover un futuro mejor gracias a la unión del progreso tecnológico con la creatividad artística. Esta visión se trasladó a nuevas generaciones que recogerían este espíritu en las décadas siguientes, cuando los ordenadores se abarataron y llegaron a los hogares particulares.

Tras la exposición se publican diversos libros que divulgan estas nuevas formas de arte. Son especialmente importantes los de Herbert Franke, *Computer Graphics, Computer Art* (1971), *Artist and Computer* de Ruth Leavitt (1976) y *Science & Technology in Art Today* de Jonathan Benthall (1972). Jack Burnham reflexiona desde la teoría sobre las implicaciones de estos nuevos dispositivos cibernéticos en *Beyond Modern Sculpture: The Effects of Science and Technology on the Sculpture of This Century* (1968), y realiza una exposición en 1970 reflexionando sobre el software como metáfora del arte, *Software, Information Technology: Its New Meaning for Art*, en el Museo Judío de Nueva York. (*ibid.*)

3.10. Otros lugares

Zagreb

En Zagreb, Yugoslavia, el movimiento artístico New Tendencies se dedica al arte concreto, *op*, cinético y constructivista en los 60s. Hacia 1968 se centran en las posibilidades de los ordenadores para la creación de imágenes, lanzando la revista *Bit International* que tiene una gran importancia en la comunidad internacional. Organizando exposiciones, encuentros y congresos, Zagreb se convierte en un centro de gran importancia, conectando a personas y organismos interesados en la creación de imágenes mediante ordenador a uno y otro lado del telón de acero.

En 1968 se celebra en Zagreb el simposio *Computers and visual research*. El grupo New Tendencies, que había realizado tres exposiciones anteriormente con arte concreto, cinético, *op* y constructivo, así como conceptual, se vuelca en la creación visual mediante código. *Bit International* recoge obras de la mayor parte de los artistas en activo en aquellos años, hasta 1973 (Rosen, 2011). Su final coincide con el fin de la etapa creativa del CCUM.

Buenos Aires

El Centro de Arte y Comunicación (CAYC), dirigido por Jorge Blusberg, es particularmente activo y participa en las exposiciones internacionales.

Aglutina al grupo de los 13, que en realidad se abre y expande más allá de esas figuras iniciales. Trabajan con el concepto de Arte de sistemas. El centro tiene un papel similar al del CCUM en el contexto cultural argentino, sirviendo de lugar de difusión de tendencias e ideas, estableciendo debates sobre poéticas y métodos y sobre todo conectando a esta comunidad con las personas más influyentes a nivel internacional que acuden invitadas a conferencias y seminarios.

IBM en el mundo

IBM continúa con su expansión por el planeta creando diversos centros en universidades³⁹. Los primeros centros⁴⁰ en Europa se abren en 1965 en Londres, Copenhage, y Pisa⁴¹ (Italia). En Oriente el centro más importante se instalará en Tokyo, constituyendo uno de los centros de creación e investigación más activos. Es el IBM Scientific Data Centre en Tokyo, Japón. Albergará al grupo Computer Techniques Group de Japón, que trabaja con la influencia directa de Max Bense, que visita el centro y difunde sus ideas, así como las experiencias que estaba desarrollando en Alemania. Este ejemplo estimula directamente a los participantes en el centro, que se incorporan a las primeras exposiciones internacionales. Participan en *Cybernetic Serendipity* con 24 piezas de imágenes generadas con ordenador y obras de poesía computerizada. Destaca su investigación sobre la interpolación de formas, luego conocida como *morphing*. En uno de los trabajos más conocido un hombre que corre se transforma en una botella de cola, que a su vez se transforma en el mapa de África.

Los miembros del CTG eran: Haruki Tsuchiya (ingeniero de sistemas), Masao Komura (diseñador de producto), Kuni Yamanaka (ingeniero aeronáutico); Junichiro Kazizaki (ingeniero electrónico), Makoto Ohtake (diseñador de arquitectura), Koji Fujino (ingeniero de sistemas) and Fujio Niwa (diseñador de sistemas). Como podemos ver, todos ellos aparecen como ingenieros informáticos, y ninguno de ellos directamente como artista.

³⁹ Encontramos una lista de las operaciones en el mundo en: <https://www.ibm.com/ibm/history/documents/pdf/emea.pdf>
Así como una historia de las oficinas IBM en: <https://www.computer.org/publications/tech-news/research/history-of-ibm-branch-offices-1920-1980>

⁴⁰ https://www.ibm.com/ibm/history/history/year_1965.html

⁴¹ <https://www.sba.unipi.it/it/risorse/archivio-fotografico/eventi-in-archivio/1965-inaugurazione-del-centro-nazionale>

Computer Arts Society

La Computer Arts Society (CAS) fue fundada en 1968 por George Mallen (Cibernético) y Alan Sutcliffe (programador ICL), participantes en *Cybernetic Serendipity*, junto a John Lansdown (arquitecto y pionero en el dibujo de planos con ordenador)⁴². Contribuyó al desarrollo del arte computérico en Inglaterra, proporcionando apoyo a los interesados, la posibilidad de exponer, talleres, conferencias y financiando algunos proyectos. Estableció ramas internacionales en EE.UU. y Holanda.

La primera exposición organizada por la CAS sucedió en 1969, *Event One*, en el Royal College of Art. Incorporaba todo tipo de actividades artísticas que investigaban en el uso de sistemas computacionales: arquitectura, escultura, gráficos, teatro, música, poesía, performance, baile y cine. Se realizó como una colaboración interdisciplinar entre artistas y programadores, y se convirtió en el modelo para futuras exposiciones en este campo.

Aunque Londres es conocido por ser el lugar donde se realiza *Cybernetic Serendipity*, no hay muchos artistas pioneros en las artes plásticas con ordenador. El interés por las posibilidades creativas del ordenador se centra más en la música, las artes performativas, la poesía y el cine, tal y como se describe en el catálogo «Creative Computers» de 1971, exposición realizada por la Computer Arts Society. La exposición recoge obras de los artistas internacionales más conocidos, y tras las imágenes técnicas de Boeing abre con obras de Barbadillo, lo que puede servir para constatar la importancia de la producción del CCUM en la comunidad artística internacional.

En Inglaterra destaca el artista y pensador Roy Ascott. Estudia en Hamilton y trabaja con las ideas de la cibernética y los sistemas de comunicación en los primeros 60s, incorporando en su trabajo los conceptos de comportamiento y proceso, interdependencia, adaptabilidad y control de los medios. Concibe el arte como proceso de retroalimentación entre artista y público, entre la obra y el participante. Tiene gran influencia en futuras generaciones de artistas desde la enseñanza en la universidad, y acogerá dentro de este marco la aparición de los ordenadores en la enseñanza británica. (Mason 2018). Editor de la revista *Leonardo*, impulsa este modelo de arte interconectado con la ciencia. Un nuevo humanismo emerge de esta relación entre arte y ciencia: se consolida la idea de que los ordenadores nos acercan a un nuevo renacimiento, entendiendo al artista como persona que maneja simultáneamente conceptos de las

⁴² Computer Arts Society: <https://computer-arts-society.com/about>

ciencias y las artes, en un modelo integral de pensamiento. Las artes sólo pueden funcionar desde los patrones matemáticos que constituyen las bases del universo (Mezei, 1967). Sistemas complejos con comportamiento cibernético, comunicación mediada e interactividad se consolidan como material para el arte.

MIT

El MIT, tan activo en las relaciones entre arte y ciencia en décadas posteriores, está curiosamente ausente en los primeros momentos del arte computacional. Algunos investigadores realizan allí sus experimentos, pero como organismo no aparece en exposiciones o publicaciones, del modo en que lo hacen otros centros como Bell Labs o Calcomm. La imagen de ondas rojas sobre fondo negro de Ebram Arazi que aparece en la portada de *Computer and calculation* es una excepción notable. Sin embargo, Arazi es descrito como un técnico en el MIT, no como artista.

Los investigadores principales parecen dedicados a tareas más *serias*. En 1963 Ivan Sutherland crea Sketchpad, el primer interfaz gráfico interactivo, origen de todos los sistemas operativos actuales basados en una metáfora visual. Sobre el trabajo de Sutherland, el equipo de Douglas Engelbart en el ARC del Stanford Research Institute añade el primer ratón y el hipertexto. Será a finales de siglo cuando con John Maeda el MIT destaque por sus aportaciones en este cruce entre arte, ciencia y tecnología.

Nicolás Negroponte, del MIT, es invitado al CCUM donde imparte una conferencia sobre «Arquitectura y Máquinas». Javier Seguí e Ignacio Gómez de Liaño visitan el MIT. Ambos opinan que tienen un arsenal tecnológico muy importante pero que los proyectos en los que trabajan no son interesantes⁴³. En 1985 Negroponte abrirá el MIT Media Lab, recogiendo estas dinámicas y constituyéndose en centro de las nuevas actividades del *Media Art*.

3.11. El Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid en este contexto

El 14 de julio de 1966 se encontraron en una gasolinera francesa cuatro españoles, eran Elena Asins, Luis García (LUGÁN), Julio Plaza e Ignacio

⁴³ De conversaciones con los protagonistas.

Gómez de Liaño, los tres primeros viajaban en coche (un Citroën 2 Caballos) hacia Bruselas para ver una magna exposición de la obra de Piet Mondrian, eran artistas plásticos insertos en una fase de abstracción geométrica. Ignacio por su parte se movía por Europa buscando conocer personalmente a sus autores referentes en poesía experimental, (Julian Bleine, Henri Chopin, Carlo Belloli, Paul De Vree, Max Bense). Ignacio hacía autostop y los otros lo recogieron a instancias de la dueña de la gasolinera, durante el viaje se reconocieron mutuamente como creadores, pasaron lista a sus conocidos comunes y a sus intereses comunes y hablaron de arte, filosofía, lingüística, arquitectura, poesía y creación⁴⁴. Poco después, unos meses como mucho, todos ellos y algunos más crearon la Cooperativa de Producción Artística y Artesana, una asociación que durante un breve pero intenso periodo supuso un foco de experimentación en el Madrid de los sesenta. Elena Asins y LUGÁN crearon poesía, Ignacio creó imágenes, Julio Plaza creó, y las obras de todos ellos fueron diferentes y similares; contenían la propia esencia y el trasvase mutuo. Años después, probablemente en 2011, en casa de Elena Asins vi muchos papeles adhesivos, en los lugares más insospechados con frases impresas extraídas de obras de Wittgenstein que Ignacio Gómez de Liaño le había propuesto.



Figura 38. Frente a la Catedral de Chartres, Lugán, Elena Asins, Julio Plaza e Ignacio Gómez de Liaño.

⁴⁴ He oído la versión de esta historia de tres de los protagonistas.

De este azar surgió una colaboración estrecha que se ha prolongado indefinidamente. De la misma manera el Centro de Cálculo se constituyó como un cruce de caminos, con todos ellos, más muchos de los socios de la Cooperativa, más muchos amigos comunes, más otros que llegaron atraídos por lo que se contaba que allí sucedía.

Eusebio Sempere había dicho en una reunión del Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas:

En un librito que estoy leyendo, dice su autor Hermann Broch⁴⁵ «la pintura se ha convertido por completo en algo esotérico y museal. El interés por ella y sus problemas ha desaparecido; ella es casi la sobrevivencia de una época pasada». Estos mismos síntomas y preguntas a resolver han surgido en los últimos seminarios del Centro de Cálculo. El problema arte-computadora es equivalente al de arte-sociedad moderna y parece que «es al artista a quien le corresponde el papel de hacer el resumen testimonial de las disociaciones, contradicciones y hasta disolución de las estructuras actuales».

En esta intervención Sempere hace explícitas una serie de cuestiones que se le plantean sobre la labor del artista, su función social, la relación de la ciencia con el arte, pero algo que no aparece y tiene capital importancia para explicar la labor de experimentación que había desarrollado durante la década de los sesenta, su acercamiento a la poesía, música a las nuevas formas artísticas, es lo que tiene que ver con otra parte del texto de Hermann Broch, no citado pero que influyó mucho en la posición que adopta Sempere frente a su obra, su tiempo o la experimentación. Sempere tiene en ese momento cuarenta y ocho años, nació en 1923, y lo más esclarecedor del texto de Hermann Broch no está en el fragmento que reproduce Eusebio, sino en las frases del principio del mismo:

Alrededor de los cincuenta años surge para cada creador el problema de su relación con el tiempo en que vive. Entonces, cuando gradualmente va haciéndose extraño a su tiempo, y entran en escena los hombres de veinticinco años, una generación a la que él –de ello duda ya– tal vez todavía podrá entender, o tal vez ya no entenderá más.

⁴⁵ Se trata de un escrito titulado *James Joyce y el mundo actual* publicado por la *Revista de Bellas Artes*, Méjico DF, en su número 22 de julio / agosto de 1968



Figura 39. Maqueta de la obra de Eusebio Sempere.

Sempere experimentó durante toda la década con ordenadores, poesía, música y buscó colaboraciones con creadores de esa generación a la que intentaba entender, fue de los pocos artistas consagrados de esta década que intentó acercarse a una generación nueva que tomaría la experimentación y lo computacional como símbolos del cambio. En el Centro de Cálculo intentó llevar a cabo una obra de arte total, que incluyese lo que a él le fascinaba: escultura, música y poesía. Y con varios creadores: Lugán, Alexanco, Julio Campal y Cristóbal Halffter; comenzó a elaborar los planos y maqueta de una obra que a la vez que giraba sobre su eje, proyectase poemas y emitiese música de forma armoniosa. La obra no se llegó a instalar en la entrada de la nueva sede de IBM España en Madrid, que era el espacio pensado para su instalación, ya que el coste de llevarla a la escala pensada (tres metros de altura) era muy alto y las dificultades estructurales no se habían solucionado.

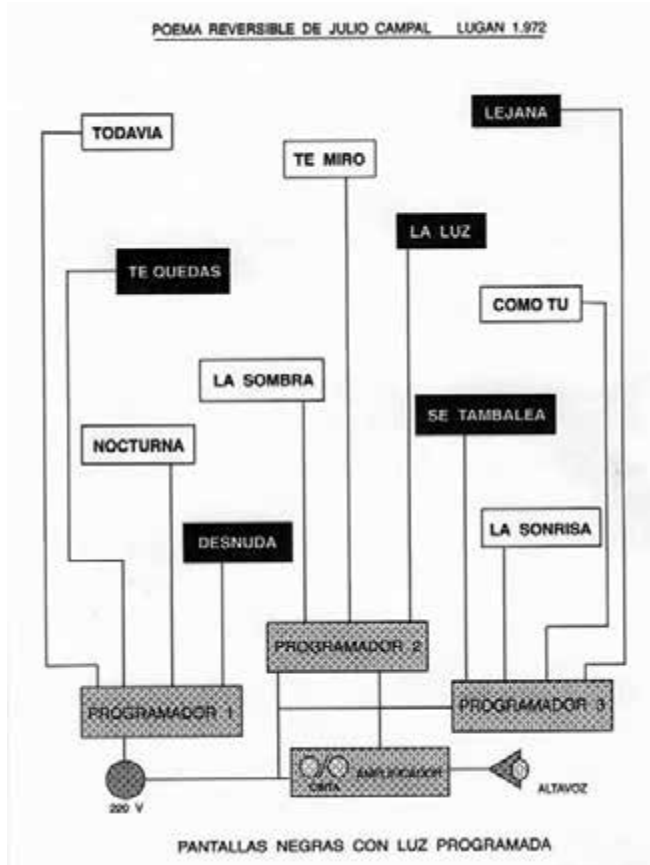


Figura 40. Esquema de funcionamiento elaborado por Lugan para la poesía de Campal.

El desarrollo conceptual de estas piezas resume el carácter de la forma de producción e investigación en el Centro de Cálculo.

Javier Seguí había estado en mayo de 1968 en París, como nos cuenta en el capítulo de este libro titulado «Pasado, presente y futuro del pasado» y leyó en las paredes de la ciudad la frase: «Imaginación al poder». Lema de los estudiantes situacionistas franceses que definió la capacidad humana de crear imágenes: la imaginación, como instrumento de gestión de la civilización contemporánea.

En el Centro de Cálculo se creaban imágenes, además de hacer todas las labores propias de un centro de aplicación de la Informática, se crearon imágenes primordialmente entre 1968 y 1973, y se situó la capacidad humana de crearlas como motor de una actividad que, si bien no era la porcentualmente mayor, si fue la cualitativamente más interesante de lo que allí se pergeñaba.

Los participantes en los seminarios del Centro creyeron posible que la supercomputadora les auxiliara en la creación de imágenes o simplemente en la creación. La 7090 se convirtió en un tótem o en un símbolo de cambio de era. Se sustituía el pincel, el piano o la pluma estilográfica por cualquiera de los periféricos que esta máquina utilizaba para pintar, hacer música o escribir. La máquina acuñaba creaciones como creaciones computacionales, digitales, modernas y futuristas. La máquina puso el futuro en el presente.

Cada avance significativo en las tecnologías humanas hace creer en la llegada de una etapa de democratización para el conocimiento y las posibilidades de desarrollo individuales. Esto se pensó también en aquel momento, con la ayuda de las computadoras el saber humano llegaría a un mayor número de personas, las posibilidades de creación se democratizarían, la máquina era una herramienta para la democratización no solo de la producción creadora sino también para la democratización del país.

Allí confluyeron las necesidades de muchos científicos, artistas, intelectuales o creadores, que pudieron gracias a la infraestructura creada por la Universidad de Madrid construir un entramado de formación y creación alrededor de ese tótem computacional que fue la IBM 7090.

4. Ideas

La actividad de los pioneros en el arte computacional surge desde un conjunto de ideas y teorías que se habían extendiendo en décadas anteriores. La idea de que la forma puede provenir de procesos matemáticos se había consolidado, tanto desde la observación del crecimiento biológico como desde la misma naturaleza abstracta de los procesos matemáticos. Mencionaremos algunas de las ideas más importantes en el origen del arte computacional, así como los autores clave en la propagación de estos modelos. Estas ideas constituyeron la base desde la que se acometieron los distintos proyectos desarrollados en el CCUM, ideas que se difundieron en los Seminarios conformando un cuerpo común.

4.1. La idea de crecimiento orgánico de D’Arcy Wentworth Thompson

Las teorías de D’Arcy Thompson en su libro *Growth & Form* sientan las bases de este modelo del mundo y de la forma basados en relaciones matemáticas⁴⁶. Sirven de fundamento a los desarrollos que exploran las formas computables, formas que pueden surgir desde fórmulas y operaciones de cálculo. Encontraron un lugar donde desarrollarse en este contexto de investigadores interesados en la modularidad y las relaciones geométricas de la forma.

To see how... the form of living things... can be explained by physical considerations, and to realize that in general no organic forms exist save such as are in conformity with physical and mathematical laws. (Wentworth Thompson 1942, 15)

Esta explicación funcional de la forma desde las fuerzas y el crecimiento sienta las bases del arte generativo y los desarrollos computacionales de for-

⁴⁶ Un modelo que puede rastrearse hasta los pitagóricos y su estudio de las relaciones numéricas y la forma.

ma y crecimiento, al encontrar parámetros y relaciones entre los elementos que son por tanto computables. Física, geometría y matemáticas, a las que añadimos el tiempo, el factor que determina el desarrollo del crecimiento.

Su modelo de crecimiento de las células puede encontrarse en el trabajo de Ana Buenaventura con Javier Seguí, modelo que desde su propia experiencia de desarrollo y superación de un proceso de cáncer da pie a las formas en expansión de unidades modulares orgánicas. Formas que pueden entenderse como células, como elementos arquitectónicos o simplemente como elementos visuales⁴⁷.

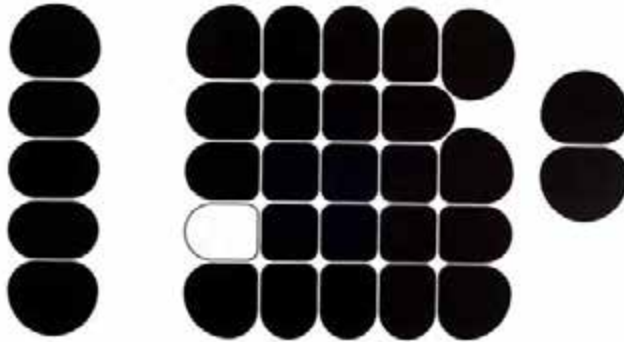


Figura 41. Obra de Ana Buenaventura y Javier Seguí.

4.2. Teoría general de sistemas

Desde la teoría general de sistemas de Karl Ludwig von Bertalanffy podemos comprender cualquier sistema complejo desde distintos niveles, entendiendo las partes que forman cada nivel desde su función en el proceso global. Podemos entender cada proceso como una caja negra, sin conocer su funcionamiento interno pero sí su función, o descender de nivel hacia su interior y observar los nuevos procesos internos, cada uno de ellos de nuevo autónomo y observable como unidad funcional. Este modelo crea un marco adecuado a la modularidad en el software y el hardware, permitiendo estructurar el código desde la totalidad en niveles inferiores, cada uno dedicado a funciones cada vez más específicas: subrutinas y funciones en el paradigma de programación de los primeros años.

⁴⁷ Javier Seguí estaba muy interesado en incluir la psicología lacaniana en la arquitectura, pero va descubriendo que la algoritmización llega a un punto, y cuando su mujer le propone hacer cuadros, como los que hacen Manolo Quejido o Soledad Lorenzo, van mezclando conceptos sobre la generación espontánea y la desaparición.

John von Neumann establece unas bases matemáticas para este modelo ordenado y modular. El sistema axiomático de la teoría de conjunto consolidó esta forma de pensamiento: conjuntos, subconjuntos, relaciones... Concibió también los primeros autómatas celulares, pero sobre todo es conocido por la creación de una arquitectura de diseño para un computador digital electrónico, conocida de hecho como Arquitectura von Neumann, en la que están basados todos los ordenadores digitales.

4.3. Joseph Schillinger y una base matemática de las artes

Otro paso en la construcción de un modelo basado en las matemáticas, Schillinger (1948) propone unas bases matemáticas en las artes. Estudia sistemas basados en series, permutaciones... casi todos los recursos que emplearon los primeros artistas digitales.

Propone un método de composición musical basado en estos principios que tuvo mucho éxito en Estados Unidos, siendo utilizado ampliamente para la enseñanza musical. Su teoría sin embargo abarca todas las artes visuales, hablando incluso de Artes Combinadas y de la correlación entre elementos visuales y sonoros. Estas bases matemáticas para la construcción de la forma se extendieron por tanto como un modelo aceptado para las nuevas generaciones. De forma natural fue empleado en las primeras creaciones con ordenadores.

Estableciendo estos principios matemáticos universales como sustrato de la creación en todas las artes, y por tanto la posibilidad de usar métodos y reglas generativos que apliquen estos principios, formaliza el concepto de que una máquina pueda generar arte. (Taylor, 2014)

No nos sorprende que su propuesta de creación racional, asistida por reglas y procedimientos matemáticos, fuera criticada en su tiempo por mecanicista, del mismo modo que las primeras creaciones por ordenador.

4.4. Las teorías de la información de Claude Shannon

Matemático, ingeniero electrónica y criptógrafo. (Michigan EE.UU., 1916). Con su tesis doctoral en el MIT (1937) es el fundador de la teoría de los circuitos lógicos digitales basados en la lógica de Boole. Desde este modelo de codificación de la información es considerado el padre de la teoría de la información con su publicación de 1948 «A Mathematical Theory of Communication»⁴⁸.

⁴⁸ <https://www.itsoc.org/about/shannon>

Su modelo lógico, discreto y computable de la información alimentará las ideas de Bense y Moles, que impulsaron las primeras creaciones y experimentos artísticos con ordenadores en Alemania. Investigador en Bell Labs, desarrolla su modelo matemático de la comunicación alrededor de las actividades telefónicas de la compañía. Establece el bit como unidad básica de información (0-1).

4.5. Chomski y la Gramática generativa

La lingüística vive una importante transformación, encontrando en la gramática generativa un nuevo modelo para comprender las estructuras del lenguaje. La Gramática generativa proporciona un marco racionalista, matemático y funcional a las estructuras y componentes de las oraciones. Cada elemento puede entenderse, más allá de significados y connotaciones, por su función dentro de la estructura de la oración.

Este modelo nos proporciona una estructura modular, en la que cualquier elemento componente de una oración puede ser reemplazado por otro elemento que desempeñe la misma función. Un simple nombre puede ser sustituido por una larga oración subordinada, que al final desempeña el mismo papel de sujeto en la oración principal.

Este modelo de pensamiento es importante, ya que acerca lenguaje, lógica y matemáticas. Esta integración de las estructuras del pensamiento constituye un modelo perfecto para la aplicación de procesos computacionales. Los árboles que representan la estructura de las oraciones se convierten en grafos que representan nuestro pensamiento, y son perfectamente aptos para el procesamiento mediante código.

El modelo de árboles y la modularidad funcional de los elementos constituirán el marco perfecto para la exploración de sistemas generativos, así como la recursión y los futuros sistemas fractales.

4.6. La estética de Max Bense

Max Bense es un filósofo alemán, académico y poeta. Estudia filosofía, matemáticas, geología, y física, y más tarde teoría de la información, semiótica y cibernética. Parte de un estudio de las bases matemáticas de las artes, tanto las artes visuales como la música y el lenguaje. Desde este campo de pensamiento interdisciplinar impulsa los primeros proyectos de

producción de imágenes artísticas por ordenador, en lo que denomina *Estética Generativa*⁴⁹.

Abraham Moles es un pensador francés, ingeniero eléctrico, filósofo y físico. Tiene dos doctorados, en física y filosofía. Se especializa en electroacústica. Es pionero en el desarrollo de la estética de la información, combinando la cibernética con la teoría de la información, junto a la Gestalt. Su concepción de la estética de la información parte de la percepción, introduciendo un factor de subjetividad, frente al racionalismo matemático de Bense. (Bense 1956)

Max Bense y Abraham A. Moles son los fundadores del grupo *Information Aesthetics*, tratando de utilizar los conceptos de la estadística aplicada a la información (Shannon y Weaver 1948) para la evaluación estética.

4.7. Antecedentes y conexiones con el arte tradicional (Estructuralismo, Op, Kinetic, Azar...)

Hemos descrito cómo los primeros artistas que producen imágenes con procesos computables se sienten herederos del constructivismo, la abstracción geométrica y otras corrientes de arte basadas en el uso de formas y estructuras geométricas.

Un elemento importante en la generación de formas con procesos computables es el de la aleatoriedad. Hemos visto cómo se emplea desde hace siglos en procesos de composición musical organizada por reglas, como es el caso del juego de dados de Mozart. Sin embargo, en la época que nos ocupa el azar está ocupando un papel importantísimo en el arte, en conexión con filosofías orientales. *Fluxus*, especialmente Cage, integran procesos de azar en la creación artística.

En programación la utilización de números pseudo-aleatorios (estos ordenadores son incapaces de cualquier proceso realmente aleatorio y recurren a trucos como el de tablas pre-generadas de números aleatorios para suplir esta imposibilidad) permite romper los procesos deterministas e introducir variaciones que se acercan a los procesos naturales, tan ricos en pequeñas alteraciones y modulaciones en la forma ocasionadas por accidentes y condiciones cambiantes en las condiciones del entorno.

La aleatoriedad se emplea en computación por tanto para huir de procesos deterministas, cálculos que producen siempre el mismo resultado, y generar variaciones en la forma. Podemos establecer una conexión con el uso del azar

⁴⁹ <http://dada.compart-bremen.de/item/agent/209>

por parte de artistas en la época (Cage y el *I-Ching*) pero en realidad se trata más bien de un recurso estético que proviene de las particularidades técnicas de estos sistemas, y no tanto una decisión conceptual, aunque de algún modo están evidentemente relacionadas.

4.8. Características: Modularidad, generatividad, geometría, estructuras...

El arte producido con los primeros ordenadores digitales utiliza fuertemente recursos de geometría y matemáticas para la estructuración de la forma. Modularidad, combinatoria, simetrías son herramientas para la generación de formas y variaciones dentro de unos recursos delimitados. El azar aparece también como forma de humanizar estos procesos deterministas.

4.8.1. *Combinatoria*

La combinatoria es una rama de las matemáticas que estudia las posibles configuraciones de elementos en un conjunto. Conocida desde la antigüedad, se desarrolla en la India especialmente, y llega a occidente desde el mundo árabe como tantos otros conocimientos en el Renacimiento. Se desarrolla junto a los otros saberes del conocimiento científico, tomando un impulso especial a finales del siglo XIX y principios del XX. Constituye otro de los pilares en este modelo racional, ordenado, estructurado, modular y computable de la realidad.

Es utilizada en las artes decorativas para crear motivos con variaciones utilizando elementos discretos, especialmente azulejos o patrones de estampado. El *I-Ching* emplea todas las combinaciones posibles en el lanzamiento de tres varillas o monedas, en una exploración mediante el azar⁵⁰.

La combinatoria resulta un campo perfecto para el desarrollo de formas computables con estos primeros ordenadores, de capacidades tan limitadas. Incapaces todavía de manejar imágenes, o vídeos, son perfectos para explorar las variaciones posibles mediante la combinatoria en un conjunto de módulos o patrones geométricos.

⁵⁰ Ignacio Gómez de Liaño utiliza el *I-Ching* en muchos de sus proyectos y es un gran especialista también en Cábala y propiedades místicas de los números.

Combinaciones, permutaciones, variaciones, simetría, mosaicos, teselaciones en el plano, mallas son conceptos importantes en la abstracción geométrica y otras variedades de arte con formas regulares, y se convierten en claves esenciales en estos primeros años del arte computacional.

El caso de Manuel Barbadillo es especialmente significativo. Barbadillo trabajaba ya con las posibilidades estéticas de su módulo, realizando cuadros a mano con las combinaciones que a él le resultaban atractivas. En los primeros seminarios del Centro de Cálculo, Alexanco le habla a Mario Fernández Barberá de que Barbadillo está trabajando con módulos y por ello le sugieren que pida una de las becas IBM para investigadores y crean así el seminario de Generación Automática de Formas Plásticas.

El módulo de Barbadillo se introduce en el sistema, y el ordenador comienza a generar todas las posibles combinaciones de giros y simetrías. El artista piensa analizar esta salida «bruta» del sistema y encontrar combinaciones que le resulten atractivas, hallando de este modo configuraciones que quizás él mismo no hubiera diseñado. Sin embargo, el programador comienza a entender las reglas estéticas que el mismo Barbadillo utiliza para detectar combinaciones en el sistema, introduciéndolas en el programa para de este modo reducir el número ingente de casos, y el coste de la impresión en papel. Barbadillo se sorprende, ya que no había pedido la introducción de estas reglas, y pronto se asusta, entendiendo que el programa podía de algún modo suplantar su personalidad creativa. Es un caso muy interesante en este desarrollo de la creatividad computacional, con todas las tensiones entre el mito del artista y la creatividad en las máquinas.

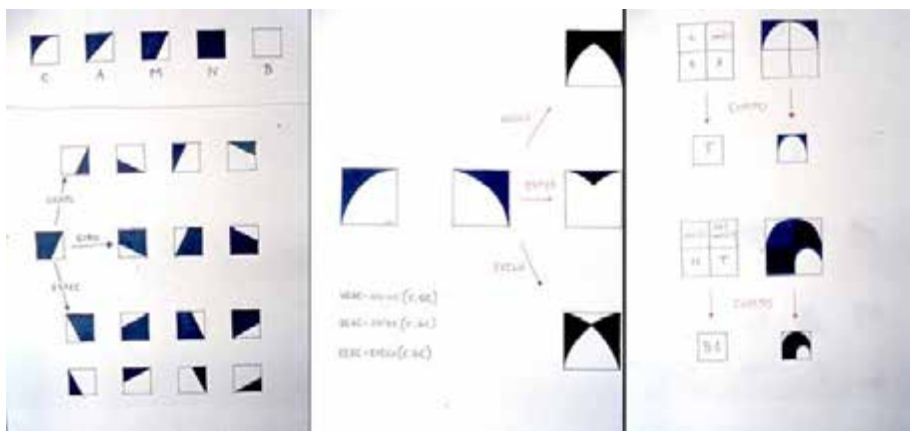


Figura 42. Esquemas análisis obra Manuel Barbadillo.

4.8.2. Teoría de conjuntos

En esta época se pone de moda en las matemáticas, y especialmente en la educación, el modelo de la teoría de conjuntos. La formalización de esta teoría parece encontrar unas estructuras profundas universales en todas las matemáticas, de un modo similar a como la gramática generativa encuentra estructuras universales en el lenguaje. Todos los procesos, relaciones y operaciones matemáticas parecen explicarse mediante la teoría de conjuntos. La Nueva Matemática parece ofrecer un marco universal para las bases de las matemáticas. En EE.UU. se traslada a las aulas como nuevo método educativo, y varias generaciones se enfrentan a las matemáticas desde este paradigma, siendo educados desde la infancia en matemáticas según el modelo de la teoría de conjuntos.

Esta moda en los sistemas educativos conduce a una situación paradójica. Pronto surge una reacción en contra, al encontrarse con nuevas generaciones de niños que hablan y piensan según este modelo, pero son incapaces de realizar las operaciones más sencillas, como la suma o la resta, encontrando grandes complicaciones operacionales. El modelo educativo es duramente criticado, se habla de los *New Math Kids* (Miller 1990) y son ridiculizados en la cultura popular, en canciones de éxito e incluso en las tiras de Charlie Brown. Pronto el gran entusiasmo por este modelo decae, pero no sin dejar marcadas a varias generaciones de jóvenes estudiantes, especialmente en USA. En Europa el modelo se aplica sin renunciar a los métodos tradicionales, llega más tarde, y se emplea en niños que ya han adquirido las bases de las matemáticas según sistemas tradicionales, con lo que no existe un rechazo tan determinante.

Aunque probablemente inadecuada como método educativo de la primera infancia, la teoría de conjuntos es una pieza más en esta construcción estructurada del conocimiento, un modelo modular organizado con elementos que pueden sustituirse según sus unidades funcionales, estableciendo un contexto universal que resulta perfecto para el pensamiento computacional, un universo estructurado analizable y codificable.

4.8.3. Modularidad

La idea de construir algo mediante módulos que pueden combinarse de distintos modos para conformar una unidad superior tiene un largo desarrollo en la arquitectura. Desde la antigüedad los arquitectos se ayudaron de módulos para resolver el problema de la elaboración de edificios complejos mediante

la combinación de elementos. Ideas como la de la sección áurea, redes regulares en la división del espacio, la secuencia de Fibonacci u otros módulos de relaciones matemáticas significativas constituyeron herramientas que facilitaban la ideación de un todo de nivel superior complejo, ayudando a establecer relaciones entre las partes y configurando así el todo con un sentido unitario. En su forma más simple supone el establecimiento de una unidad básica, por ejemplo el radio de las columnas, y desarrollar el resto de dimensiones con múltiplos de esta unidad, tratando de obtener relaciones armónicas entre los elementos y entre estos y el todo.

La teselación del espacio continuo y las redes regulares tienen un desarrollo exhaustivo y espectacular en el mosaico árabe. Trabajos aplicados como las decoraciones de la Alhambra son otra parte importante en las nociones estéticas que sustentarán el nuevo pensamiento modular racionalista de estas generaciones de artistas⁵¹.

Con la modernidad se intenta trasladar este concepto al individuo, tomando sus dimensiones como elemento principal. El Modulor de LeCorbusier (1948) supone una propuesta que trata de acercar este racionalismo geométrico ideal a un modelo de producción mecanizado, estableciendo nuevos estándares para las dimensiones de casas y habitaciones dentro del nuevo sistema industrial. En España Rafael Leoz propone el módulo Hele en los 60s, un sistema para la creación de viviendas en serie⁵².

Estas ideas llegan a las artes visuales desde el constructivismo y el minimalismo. La escultura recoge esas ideas de desarrollo de la forma tridimensional de la arquitectura, con propuestas como las de Tony Smith. Desde la arquitectura de Lloyd Wright, para el que trabaja, que une los conceptos modulares de la antigüedad clásica con los de Japón y su sistema práctico de unidades materiales para la construcción de habitaciones y viviendas. Tony Smith entiende que el módulo puede llevarse más allá de su uso aplicado y abre una exploración de sus posibilidades artísticas, dentro de esta nueva estética racional y minimalista.

En el artículo que incluimos de Florentino Briones «Pintura modular» se explica al detalle el proyecto modular de Barbadillo, el caso más destacado de entre los desarrollados en el CCUM alrededor de estas ideas.

⁵¹ Tiene relación con los proyectos de Ignacio y de Guillermo Searle sobre el Apostolario del Greco y la teselación de la imágenes del arte, la maja desnuda u otros.

⁵² El seminario de arquitectura se ocupa de estas posibilidades generativas desde la computación, con los proyectos de Javier Seguí de la Riva, Juan Navarro Baldeweh y José Miguel de Prada Poole.

4.9. Gramáticas formales y Gramáticas libre de contexto

Como base de todo el trabajo sobre desarrollos de modularidad y combinatoria, las gramáticas libres de contexto ofrecen un modelo estructural modular que no depende del contenido de los elementos.

Una gramática formal es una estructura matemática con un conjunto de reglas de formación que definen las cadenas de caracteres admisibles en un determinado lenguaje formal o lengua natural. Las gramáticas formales aparecen en varios contextos diferentes: la lógica matemática, las ciencias de la computación y la lingüística teórica, frecuentemente con métodos e intereses divergentes.

En la actualidad podemos explorar las capacidades generativas de formas bi y tridimensionales con los proyectos de software *ContextFree*⁵³ y *Structure Synth*⁵⁴, ambos proyectos de software libre.

⁵³ <https://www.contextfreeart.org/>

⁵⁴ <http://structuresynth.sourceforge.net/>

5. Éxitos de las experiencias artísticas/creativas de los seminarios del CCUM

La obra artística producida alrededor de los seminarios del Centro de Cálculo es ampliamente conocida. Se han realizado exposiciones monográficas dedicadas a aquellas obras, y ha sido recogida en libros, catálogos e incluso en tesis doctorales. No es este el lugar para incluir de nuevo toda la obra producida en aquellos años, pero sí queremos destacar aquí brevemente algunos de aquellos proyectos que destacan por su carácter singular en el contexto internacional del arte computacional.

El sistema de producción en el Centro de Cálculo no era ágil, los creativos, salvo pocas excepciones (Guillermo Searle o Alexanco), no podían hacer el análisis, ni programar sus obras de forma autónoma, por lo que la consecución de los proyectos era lenta y dependía en muchos casos de la voluntad de los analistas y programadores de extender sus horas laborales y colaborar con artistas, arquitectos o músicos. Se trató de solventar esta carencia por un lado intentando que los creadores aprendieran Fortran IV (lo que además de resultar un fracaso hizo que muchos artistas se quejaran) y por otro se pretendía que becarios y alumnos auxiliaran, estos desaparecían en épocas de evaluaciones y no permitían mantener continuidad suficiente. Por lo que conseguir acabar un proyecto era realmente complejo.

El sistema de *Generación de Patios Platerescos* de Ignacio Gómez de Liaño y Guillermo Searle, basado en las posibilidades de producción de formas de la gramática generativa, destaca como aplicación excepcional de este modelo estructural, combinando lingüística, arquitectura e historia del arte local en un proyecto realmente único en el contexto internacional. Ignacio, asistente al seminario de lingüística y Guillermo con formación de arquitecto, en contacto de primera mano con las experiencias internacionales de arte computacional, estaba en una posición privilegiada para integrar estas disciplinas diversas en un proyecto único. En otra línea de investigación recogida en su artículo *Pintura y perceptrónica*, aplican a obras maestras de la pintura universal, el *Apostolario* del Greco o la *Maja* de Goya una simplificación

gradual de las unidades de información que transforman las obras en abstracciones geométricas.

La aplicación de la programación para explorar la multiplicidad combinatoria de formas, aplicada a un trabajo artístico ya en marcha, en el caso de Manuel Barbadillo y su módulo, resulta adecuada y fructífera: por lo acertado de la elección del material gráfico, por la adecuación a las técnicas computacionales existentes en aquella época y por su acierto plástico, directo y apto para convertirse en icono de aquellas experiencias.



Figura 43. *Apostolario del Greco*, de Ignacio Gómez de Liaño y Guillermo Searle en la exposición *Pintura y Perceptrónica* en la Galería José de la Mano noviembre de 2016 a febrero de 2017.

La obra de José Luis Alexanco, el único que supo introducirse en los misterios del código y la programación, destaca como una serie completa y muy potente, con fuerte carácter experimental y al mismo tiempo un acertado carácter matérico, tanto en las piezas producidas como en el material gráfico generado en el proceso que se constituyó como obra completando las series. Destaca su interés en mostrar el proceso de análisis y programación como parte alícuota de la obra. El *software* creado en el Centro de Cálculo exploraba las posibles deformaciones de una forma, con interpolaciones y otros recursos matemáticos para llegar a nuevas formas generadas, no conocidas antes del proceso. Alexanco, interesado inicialmente en el movimiento de la forma, es capaz de completar un proceso de creación experimental complejo con éxito, creando piezas y material gráfico de gran calidad, en un sistema que podía realizar cálculos pero que

precisamente carecía de cualquier posibilidad de generar imagen en movimiento, dado lo diferido de sus procesos.



Figura 44. Obras de José Luis Alexanco en la exposición *Geometrías Afines, video instalaciones con base matemática* en la Galería José de la Mano de Madrid, abril – mayo 2015.

Las estructuras modulares orgánicas en crecimiento de Javier Seguí y Ana Buenaventura sorprenden porque se adelantan al *Juego de la vida* de Conway, que se convertirá en el sustrato de las nuevas ciencias de la emergencia. Células que mueren cuando carecen de espacio vital, células que se expanden y desarrollan cuando encuentran espacio libre. Conecta investigaciones matemáticas del desarrollo de microorganismos con el espacio arquitectónico para crear una imagen plástica potente.

El *Autorretrato* de Eusebio Sempere introduce la digitalización de fotografía, realizada a mano con un densitómetro punto a punto, junto a las deformaciones de la geometría más comunes en la escena alemana. Se realiza aplicando la fórmula de la gravitación universal a cada punto de intersección de una malla en dos dimensiones para lograr carácter escultórico. Es importante porque sabe convertir la figura del artista en un elemento icónico, dentro de la estética computacional que exploraban, convirtiéndose de este modo en símbolo de aquellas experiencias.

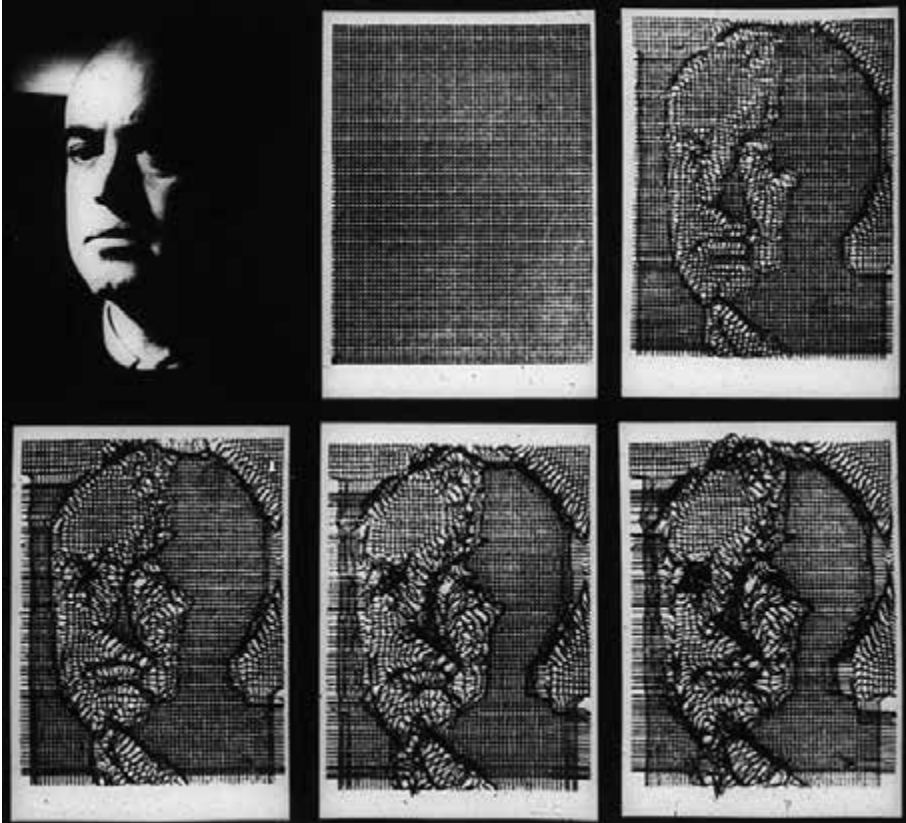


Figura 45. Autorretrato de Sempere. Proceso de digitalización.

Manolo Quejido, con su serie *Secuencias*, realiza una exploración más libre de las posibilidades de la combinatoria. Desplaza sus formas sobre tramas bien definidas siguiendo reglas sistemáticas para formar secuencias con una evidente intención cinética, teniendo en cuenta el concepto de espacio vacío en su relación con las formas y su ubicación en el espacio bidimensional.

Soledad Sevilla y Gerardo Delgado realizan un trabajo de desarrollo modular semejante al de Barbadillo. Enrique Salamanca explora las combinaciones de la representación bidimensional de la *Cinta de Moebius*. José María López Yturalde genera figuras imposibles, juegos visuales con la relación entre la representación bidimensional y las tres dimensiones. José Luis Gómez Perales utiliza la secuencia de Fibonacci para la generación de formas geométricas. Tomás García Asensio explora las posibilidades combinatorias del color, convertido en valores numéricos para que el ordenador pudiera procesarlo.

La obra de Lugán será única en aquel grupo, ya que explora las posibilidades electrónicas de aquellas máquinas, en un proyecto creativo más cercano a los primeros ordenadores analógicos que poblaron *Cybernetic Serendipity*. No trabaja con el ordenador del Centro, sino que se centra en las posibilidades artísticas de circuitos, placas, carcasas y cables, sintiendo aquellos elementos como algo vivo, que estaba pidiendo su intervención para la creación de extraños organismos.

Elena Asins es quizás el caso más excepcional de todos aquellos artistas. Asistiendo desde el comienzo al seminario de formas computables, no desarrolla ningún proyecto en el ordenador del CCUM, quizás porque sus ideas todavía no están maduras, o quizás porque como mujer no consigue la atención y el tiempo necesarios para poder llevarlas a cabo. Sin embargo, es la única de todos ellos que desarrollará toda su carrera artística alrededor de los conceptos adquiridos en aquellos años. Se traslada a Stuttgart donde recibe formación directamente de Max Bense, y posteriormente a la Universidad de Columbia donde tiene acceso a los sistemas necesarios.

Los músicos constituyen un grupo singular en el contexto internacional. Aunque al principio intentan producir sonidos con el sistema disponible, se centran en las posibilidades generativas del código para la producción de piezas sobre partitura, centrándose en las posibilidades de la gramática generativa para producir desarrollos de la forma, motivos y variaciones. El cuerpo de su producción se desarrolla fuera del marco cronológico que estamos tratando, lejos de la máquina. El éxito más destacable de este seminario fue continuar sus sesiones hasta 1982, en este momento se constató que la irrupción de los ordenadores personales cambiaba el panorama sustancialmente. Una vez finalizados los seminarios en el Centro de Cálculo fueron acogidos en la cátedra de Análisis de Formas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, más adelante se trasladaron a la biblioteca del Museo de Arte Contemporáneo de Madrid y finalmente a la Facultad de Informática en el aula 203. A partir de 1974 se incorporaron nuevos participantes: Rafael Seniosiaín, Javier Maderuelo, José Iges, Julián Hernández y Antonio Agundez. En esta fase ahondaron en las posibilidades compositivas de los ordenadores. Con el patrocinio de CITEMA (Centro de Informática Técnica y Material Administrativo) se editaron Boletines con unas características muy similares a los de un primer momento.

En el Seminario de Lingüística Matemática se fraguaron las aportaciones inmensurables de Víctor Sánchez Zabala, que se plasmaron entre otras en sus investigaciones fundamentales, la primera de ellas «Fundamentos praxioló-

gicos y cognoscitivos de la actividad lingüística.» en Anales de la Fundación Juan March 1974, Madrid 1974 gracias a la beca que le concedió la Fundación March, muy unida en esos momentos al Centro de Cálculo, y su posterior publicación *Funcionalismo estructural y generativismo*, en Alianza en el año 1982.

Los tres programas que se llegaron a implementar en el Seminario de Arquitectura: el modelo de Domótica COMRES, el modelo combinatorio ASAP, y el modelo de conducta MODCOM, fueron formalizaciones prácticas y funcionales de las teorías sobre el espacio en arquitectura, las posibilidades de crear viviendas a medida del usuario gracias a la combinatoria numérica y la aplicación de la psicología lacaniana a la percepción de las construcciones arquitectónicas respectivamente.

Uno de las mayores consecuciones del Centro de Cálculo fue la biblioteca especializada de informática. Siguiendo las publicaciones, tanto boletines como memorias, en las que se dan noticias sobre las incorporaciones de monografías y revistas especializadas, y también en las reseñas que de alguna de ellas se hacían tenemos una foto fija increíble sobre el momento de la investigación y evolución de la informática en sus décadas fundacionales.

6. El fin de una época

Pasado este primer momento de euforia y exploración de las posibilidades de generación de material artístico con sistemas algorítmicos y computacionales se produce una fase de estancamiento. El interés del público, de los medios y de los mismos artistas decae. Se han explorado ya casi todos los métodos imaginables para la creación que ofrecen esos primeros ordenadores digitales, en realidad tan limitados en potencia de cálculo y medios de salida. Después de aquel periodo inicial de entusiasmo y descubrimiento de las posibilidades creativas de la programación parece producirse un cierto desencanto y poco a poco las actividades cesan en casi todos los centros que desempeñaron un papel activo en los comienzos del arte digital. Parece que de algún modo todas las ideas quedan agotadas, y al mismo tiempo el sistema del Arte dominante no parece acoger con agrado este tipo de extrañas creaciones realizadas con ayuda de la máquina, que parecen poner en peligro el mito del genio creador que sustenta su sistema.

La mayoría de aquellos primeros artistas abandonan el medio, debido a este cansancio por lo dificultoso de los procedimientos, el agotamiento de las posibilidades con aquellos sistemas primitivos, la dificultad de acceso a las máquinas y la imposibilidad de trabajar en el estudio privado por el coste inaccesible de aquellos sistemas. El interés de las mega-corporaciones se centra en otros espacios de promoción de sus productos.

Leslei Mezei, uno de los artistas pioneros, nos habla de esta sensación de estancamiento de forma muy crítica:

Computer Art, as many new endeavors, has reached a plateau of stagnation after an exhilarating start full of promise. The computer specialists who first played with these possibilities soon exhausted their ideas and their interest. They merely did what was easy and obvious with their hardware and their even more limited software. Since they were first the results were unique and interesting, but generally 'artless,' and not very innovative. (Mezei 1975)

El hecho de ser los primeros garantizaba la novedad de las ideas y las obras creadas, pero esta novedad pronto se agota. Esta autocrítica de Mezei es un claro ejemplo del disgusto con el que la mayoría de los creadores originales abandonan el medio como rechazo a lo que comienza a suceder: repeticiones de lo ya realizado sin un sustrato conceptual y la escasez de nuevas ideas. El arte generado con ordenador comienza a convertirse en un cliché, una moda fácil. Los artistas además se sienten incómodos en su relación con las multinacionales y otras instancias del poder, en una época de inconformismo y militancia política⁵⁵.

Frieder Nake analiza lo sucedido en un texto clave, reflexionando porqué no debe existir un Arte de Ordenador, convertido en una nueva moda artística: «Computers ought not to be used for the creation of another art fashion» (Nake 1971). Sin embargo, entiende que los ordenadores pueden ser útiles para explorar otras posibilidades, transformando incluso lo que podemos considerar Arte y desmontando sus formas caducas y sin sentido: «Computers can and should be used in art in order to draw attention to new circumstances and connections and to forget 'art'.» (*ibid.*) Con esta revisión del posible desarrollo de la relación entre arte y ordenadores se adelanta a lo que se constituirá como *new media art* y el arte digital del siglo XXI.

Nuevas corrientes en el panorama artístico internacional: los nuevos salvajes, la transvanguardia... Surge de nuevo una apreciación por lo matérico, por la expresividad subjetiva, por la acción frente al cuadro, el gesto y el trazo. Este nuevo expresionismo se sitúa en las antípodas del movimiento racional y ordenado que explora las posibilidades combinatorias de módulos, o la belleza de relaciones matemáticas en las formas. Esta tendencia general en el panorama artístico aleja definitivamente a la mayoría de los que estuvieron involucrados en aquellos experimentos y los conduce hacia otras formas de expresión plástica.

Sólo algunos casos singulares desarrollarán una carrera de largo recorrido en el campo de la creación con sistemas de computación. En el caso de los artistas que participaron en los seminarios del CCUM cabe señalar la figura de Elena Asins, que asistiendo al seminario de formas computables no llegó a realizar ningún proyecto en el centro, pero que después desarrolló una obra

⁵⁵ Eusebio Sempere se queja en 1971 de lo mal que va el seminario para él, se queja de que parecen trabajar para la IBM y que le están haciendo plantearse su labor social de artista. Resultaba difícil trabajar bajo estas grandes instituciones, siempre sospechosas desde la ideología de rebelión dominante.

importante y consistente partiendo de todos los conocimientos adquiridos en aquellos años.

Algo semejante sucede con la creación musical en el CCUM: El seminario sirvió como germen para futuros proyectos que se desarrollaron ya en otras instalaciones (en la Universidad Autónoma y en varios centros a los que les da acceso Florentino Briones) y con otros sistemas informáticos.

Parece que los que crearon obra importante en el CCUM con la máquina abandonaron este tipo de creación en cuanto quedaron alejados del sistema, y en cambio algunos de los que no llegaron a producir obra en el centro fueron madurando esas ideas adquiridas allí y las desarrollaron después, cuando pudieron acceder a otros equipos.

6.1 El ordenador personal

6.1.1 *El ordenador personal y los Microordenadores*

A partir de la salida al mercado de la serie IBM 360 se generaliza el uso de los ordenadores en todas las empresas de gran tamaño y en muchas de mediano, así como en todas las administraciones públicas. IBM señala esa serie como la de su gran momento. En 1974 el rector de la Complutense habla de retirar la 7090 y se hace; no todas las personas «tocan» un ordenador, pero muchas más lo han visto funcionar y el ordenador pierde el carácter totémico/simbólico para pasar a ser una herramienta cotidiana, y la irrupción del PC lo convierte en un electrodoméstico más.

Empiezan a fabricarse los primeros ordenadores personales, que posibilitarán el uso y aprendizaje de estos sistemas fuera de los grandes centros de cálculo. Las empresas empiezan a adquirir sistemas para labores de cálculo y manejo de datos. Incluso en los hogares domésticos aparecen pequeños ordenadores que servirán para la formación de la primera generación de programadores y apasionados por lo digital, generación de usuarios que comenzará a desarrollar software e inventar nuevos modos de uso de la tecnología.

Al final de los años 70 y en los 80 los ordenadores pueden encontrarse en casi todas las empresas y en muchos hogares. Los microordenadores como el Commodore 64 o el ZX Spectrum saltan del aficionado a la electrónica al mercado infantil, con las primeras consolas de videojuegos Atari. Estos sistemas constituyen un punto de entrada para usuarios avanzados, que encuentran

más interesante aprender a programar en el intérprete de Basic incorporado que jugar a los juegos comerciales.

6.1.2 *Software comercial*

Comienzan a aparecer los primeros programas de diseño y edición de imágenes. El software se infiltra lentamente en todas las actividades de la creación visual y multimedia. Se van colonizando nuevos territorios según lo permite la tecnología: cálculo de operaciones numéricas, edición de textos, dibujo de pixel en pantalla, dibujo vectorial, maquetación, edición de tipografía. Gracias al protocolo MIDI, que permite la interconexión de sintetizadores, cajas de ritmo y ordenadores, nacen los secuenciadores musicales. El incremento de la potencia de los equipos posibilita la edición de sonido digitalizado (DAW), el primer vídeo editado por ordenador y poco a poco la aparición de efectos y procesos virtuales de sonido (VST) e imagen. Se inventa un nuevo medio, el modelado y animación 3D, y los incipientes sistemas de realidad virtual (VRML). Los nuevos sistemas de almacenamiento de datos como el CD-ROM posibilitan la creación de aplicaciones multimedia interactivas, al albergar grandes cantidades de imágenes, texto y sonidos, algo imposible con los *disquetes* de los primeros sistemas domésticos.

El artista o curioso interesado por la creación con sistemas digitales no encuentra muchos motivos para programar. Resulta mucho más interesante aprender a utilizar los nuevos programas comerciales, o las pequeñas utilidades y alternativas *shareware* u *open source*. Programas como Corel Draw, Photoshop, Cubase, Premiere, Director, Autocad o 3D Studio suponen saltos de paradigma que transforman modos de hacer y de pensar en la generación y manejo de recursos multimedia.

By the early 80s, computing technology had changed radically. It was no longer imperative to construct one's own hardware. Proprietary software packages were becoming widely available and user-friendly systems were gaining ground; financially, too, the costs decreased. Although many continued to program, the rise of software meant that it was no longer necessary to write code to achieve many similar effects. This led to new avenues of exploration. Within the realm of digital painting, innovations allowed new techniques of layering, digital collage and printing, using, first, paint-box type systems, and later commercial brands such as Photoshop and now the iPad, most famously used today by David Hockney. (Mason, 2018)

La programación se hace cada vez más compleja y menos accesible. Los primeros grandes ordenadores sólo podían utilizarse escribiendo programas para soluciones concretas. Los microordenadores domésticos invitaban a la programación al ofrecer un intérprete de Basic como sistema. El salto a los 16 bits y los nuevos sistemas operativos gráficos apartan de repente la programación del usuario. La escritura de código queda reservada a ingenieros informáticos, mediante entornos de desarrollo (IDE) crípticos y complejos. La nueva programación se centra en el manejo de las librerías del sistema operativo, conexión con datos y relación con el interfaz gráfico de ventanas del sistema. Sólo abrir una ventana para dibujar una línea o un círculo se convierte en una tarea del más alto nivel, sólo apta para informáticos con formación especializada. El artista, el amateur, el curioso o espontáneo no encuentran un modo fácil de acceder a la programación.

Los formatos de archivo, que permiten almacenar la información gráfica, textual, sonora o de vídeo se van creando y consolidando, asociados a logros matemáticos que permiten una compresión avanzada de estos contenidos que tanto exigen de los medios de almacenamiento. Los formatos (JPG, GIF, TIFF, PDF, AVI, MOV, WAV ...), al principio propios de cada programa y cada sistema, comienzan a estandarizarse, normalizando y universalizando la utilización y la interoperabilidad.

6.1.2 *La red y el caos*

En los 80s comienzan a aparecer nuevas teorías científicas que enriquecerán enormemente nuestro conocimiento de las formas naturales y sus procesos generativos. El mundo cartesiano basado en retículas regulares parece deshacerse ante la teoría de los Fractales de Benoit Mandelbrot. La teoría del caos añade un factor de impredecibilidad en sistemas dinámicos. Los conceptos de complejidad y emergencia comienzan a explicar el comportamiento de todo tipo de sistemas, en sus relaciones y modos de crecimiento. El *Juego de la vida* de Conway fascina a toda una generación de científicos, que descubren la potencia de crecimiento generativo que ofrece el comportamiento no dirigido de pequeños agentes con normas de conducta limitadas a su contexto inmediato. El todo surge de la acción de sus pequeños componentes, cada uno ocupándose de sus problemas locales.

Estas teorías combinadas transformarán el acercamiento a la creación mediante ordenadores. Los sistemas digitales nos permitirán acercarnos a simu-

laciones de este tipo de sistemas basados en agentes autónomos, estudiando el comportamiento de su interacción y las posibilidades creativas de la emergencia. Diversos proyectos de vida artificial comienzan a presentarse como creación artística.

El mundo literario recoge estos primeros avances de la tecnología digital y configura una increíble imaginería futurista, en la que ordenadores y humanos se combinan en extraños organismos. Un mundo oscuro, en el que la tecnología desciende hacia el *underground*, mezclándose con la estética de la novela negra. El *cyberpunk* se plantea como una ficción muy próxima a la realidad, una simple extrapolación de fenómenos que empiezan a suceder en el mundo real. Su alcance es tan visionario que muy pronto los autores principales abandonan el género, comprendiendo que la realidad está superando sus sueños. A William Gibson y Bruce Sterling sucede una generación *post-cyberpunk*, que explora con más calma nuestras relaciones con tecnologías, antiguas y futuras. Neal Stephenson conecta revoluciones científicas pasadas con las actuales transformaciones digitales.

Este universo de ficción llega a las pantallas de cine con *Blade Runner* y *Matrix*. La imagen tiene tanta fuerza que se constituye en el modelo de futuro que todos compartiremos. La tecno-utopía optimista de *2001: Una odisea en el espacio* será reemplazada por las distopías *cyberpunk*, y su imaginario se apodera de las producciones audiovisuales conformando nuestro nuevo contexto cultural.

La gran red comienza a extenderse por el planeta, conformando un tejido neuronal que alimentará el nuevo meta-organismo que poco a poco se va conformando. Internet transformará las creaciones de artistas, que buscan en su anonimato y universalidad un espacio de libertad y reivindicación en el primer *Net-art* y las primeras acciones del *hacktivismo*. La consolidación de grandes plataformas comerciales en la red aniquilará estos sueños utópicos con un nuevo sistema universal de control y captura de datos. Las distopías de *Gran Hermano* y *Brazil* se convierten poco a poco en algo cotidiano.

6.2. La continuación del arte computacional

En este contexto, podemos observar a finales de los 90s la emergencia de un nuevo interés por la creación artística mediante código. Ante las dificultades que plantean los sistemas existentes para la creación desde una formación artística, es necesario recurrir a los intersticios para poder explorar algunas

de las opciones que tiene la programación para la creación y manipulación de formas, imágenes y sonidos. El MIT se convierte en esta época en el lugar donde suceden cosas, gracias a su filosofía de encuentro entre arte, ciencia y tecnología. Los artistas utilizan las herramientas comerciales con procedimientos no normativos, y comienzan a desarrollar sus propias plataformas para la creación digital, dentro de los modelos de código abierto, *Copyleft* y las licencias *Creative Commons*, marcos que permiten la creación libre superando las imposiciones y restricciones de la industria del software y los propietarios de contenidos culturales.

Aplicaciones Multimedia

Algunos artistas encuentran resquicios en este sistema, realizando experimentos en plataformas no concebidas para ello. En concreto, en *Macromedia Director*, *software* para la creación de aplicaciones multimedia, se puede escribir código para definir el comportamiento de los objetos que aparecen en pantalla. Esto invita a la exploración de modos de interactividad y comportamientos reactivos, primeras exploraciones sobre arte digital interactivo en los ordenadores modernos. Estas exploraciones se trasladan a *Flash*, pronto adquirido por la misma compañía.

John Maeda y el Aesthetics + Computation Group

A final de los 90s, en el MIT John Maeda crea un grupo interesado en las posibilidades de la computación para el diseño, uniendo a artistas, diseñadores e ingenieros. En este contexto crea un pequeño sistema que pueda servir a artistas y otras personas sin una formación técnica avanzada a introducirse en la programación para la generación de imágenes y formas en pantalla: *Design by numbers*.

Processing

Dos alumnos aventajados de este grupo, Casey Reas y Ben Fry, toman este proyecto como punto de partida para la creación de una plataforma más potente y completa: *Processing*⁵⁶. Pensado desde el comienzo con este modelo de sencillez, limpieza, fácil acceso y con todos los recursos necesarios para

⁵⁶ <https://processing.org/overview/>

el aprendizaje, junto al modelo de software libre y la cultura de compartir, se convierte pronto en una plataforma importante para un nuevo resurgir de la creación artística mediante código.

Processing es una plataforma que permite programar en *Java* sin las dificultades iniciales que supone un sistema de desarrollo moderno. El usuario se encuentra con una pantalla limpia, de cuidado diseño y con pocos elementos de interfaz, con una página en blanco en la que puede probar ideas de código. El trabajo se guarda como *sketch* (boceto), lo que nos da una clara idea de la filosofía subyacente en esta plataforma. De este modo se nos invita a probar ideas, modificar cosas para ver qué pasa, en un proceso de exploración de las posibilidades del código. Este proceso de creación es radicalmente distinto al modo en que trabaja un programador normal, que primero diseña todo el sistema y define sus especificaciones, y posteriormente implementa lo ya diseñado. La idea de *Processing* es la exploración, el juego y el descubrimiento.

OpenFrameWorks

En paralelo a *Processing*, buscando una mayor velocidad de procesamiento para obras que requieren un movimiento más fluido o una mayor calidad gráfica, los artistas Zachary Lieberman y Golan Levin crean la plataforma *OpenFrameWorks*⁵⁷. Se trata de un conjunto de librerías del lenguaje C++ compatibles entre sí, dentro de un ecosistema libre y de código abierto. El lenguaje C++ se utiliza para la programación de aplicaciones y videojuegos, especialmente cuando necesitamos la máxima velocidad de proceso (en los ordenadores actuales un programa escrito en C++ y compilado es incluso superior en velocidad de ejecución a un programa escrito en código máquina, el lenguaje que emplea el procesador (CPU), dada la complejidad de las arquitecturas y sistemas operativos actuales).

MAX/MSP/Jitter y PureData

Con la aparición del MIDI nace en el IRCAM, un centro de electroacústica en París, un sistema para la manipulación de la información numérica de los mensajes musicales. *MAX*⁵⁸ se forma según el modelo de los procesos de

⁵⁷ <https://openframeworks.cc/about/>

⁵⁸ http://web.archive.org/web/20090603230029/http://freesoftware.ircam.fr/article.php3?id_article=5

audio, con señales que fluyen por cables y son procesadas en distintas unidades de procesamiento. El incremento de potencia de los procesadores permite pronto la realización de un complemento: MSP⁵⁹, con el que podemos manejar audio digitalizado, llegando al control del mismo material sonoro, y no sólo a la información del número de nota, como en MAX.

El siguiente añadido será Jitter, un conjunto de elementos que permiten manipular imágenes y vídeo. Esto completa el ecosistema, que permite la creación de sistemas multimedia interactivos, con sonido, control de sintetizadores y otro hardware, imágenes y vídeo. La aparición de proyectores digitales cada vez más económicos permite crear entornos interactivos reactivos, con imagen proyectada y sonido.

Este modelo de *patches* o cajas conectables será luego utilizado en numerosos sistemas para el manejo de imágenes y sonido. La principal diferencia de MAX/MSP con los sistemas de programación habituales es que el sistema está siempre en activo, procesando los datos en tiempo real. Se asemeja a un sistema de sonido en el que la señal atraviesa filtros y otros procesadores, siendo transformada en cada proceso en tiempo real. Podemos cambiar el cableado, alterando las conexiones y el flujo global de la señal, pero el sistema no se detiene, procesando las señales y generando resultados en todo momento. Este modelo es especialmente adecuado para la creación de sistemas interactivos artísticos en tiempo real, ya que podemos construir una máquina que funciona constantemente, alterando su funcionamiento y configuración en cualquier momento y observando siempre los resultados en directo.

El autor de la parte de MSP, Miller Puckette, decepcionado al ver que su creación se convierte en un producto comercial de difícil acceso a la comunidad artística, desarrolla PureData, una alternativa libre y abierta a MAX/MSP. Se convierte en un sistema muy utilizado para instalaciones sonoras y como sistema de control y punto de conexión entre otros sistemas de procesamiento.

Arduino

Al lado de todos estos lenguajes de programación pensados para la creación artística nace un proyecto excepcional que transformará completamente el ecosistema digital. *Arduino* nace como plataforma *hardware* para aplicaciones artísticas, trasladando la idea de software libre a la parte física, creando el

⁵⁹ <http://web.archive.org/web/20090609205550/http://www.cycling74.com/twiki/bin/view/FAQs/MaxMSPHistory>

modelo de *open hardware*, un modelo que permite utilizar, copiar y reutilizar los diseños de placas y tarjetas. Facilita el trabajo con sensores de todo tipo, motores o luces. El código puede empezar a escapar de la tiranía de la pantalla hacia la acción física.

Demoscene

En paralelo a este desarrollo artístico de las plataformas multimedia se mantiene a lo largo de los 80 y 90 una escena muy activa que mantiene la pasión por el código y la generación de visuales y sonido mediante algoritmos. La Demoscene⁶⁰ se centra en la programación a muy bajo nivel, en código máquina o luego en C, para crear pequeñas piezas (demos) de muy intensa actividad multimedia. No conecta realmente con la comunidad artística general, y queda apartada a un fiel grupo de seguidores. Algunos de los desarrollos de esta Demoscene serán luego asimilados por las nuevas generaciones de artistas interesados por el código, cuando encuentran una forma fácil de acercarse a sus algoritmos en las nuevas plataformas de programación orientadas a artistas.

Logo y Scratch

Un caso singular en el desarrollo de los gráficos por ordenador es el del Lenguaje Logo⁶¹. Creado en 1967 por Wally Feurzeig, Seymour Papert, y Cynthia Solomon, parte de un paradigma distinto a los lenguajes de uso habitual en aquellos primeros ordenadores, como Pascal o Cobol. Logo es una implementación de Lisp, dentro del paradigma de la programación funcional, basada en un modelo de abstracción de las matemáticas y utilizada como base de los primeros desarrollos de inteligencia artificial. (Muller 1997)

Logo destaca como herramienta educativa, al emplear una «tortuga» como agente que dibuja en pantalla, o incluso como pequeño robot que se mueve por el suelo dibujando sobre un papel. Los dibujos se generan por el movimiento de la tortuga, lo que nos lleva a situarnos en su lugar y tratar de visualizar mentalmente las operaciones de movimiento necesarias para lograr la figura deseada. Es especialmente interesante en su implementación de la recursividad: una operación de dibujo de forma puede llamarse así misma

⁶⁰ <https://www.demoscene.info/>

⁶¹ [http://hitchhikersgui.de/Logo_\(programming_language\)](http://hitchhikersgui.de/Logo_(programming_language))

alterando la escala y la rotación, generando figuras autosemejantes y acercándonos a la geometría fractal.

Logo se introdujo en las escuelas de Estados Unidos y otras zonas del mundo con poder económico, considerado como un modelo adecuado para el acercamiento de los niños a la programación, desde las teorías educativas de Papert.

Recientemente el concepto de Logo ha sido actualizado en el sistema de programación *Scratch*, que emplea la misma estructura de comandos dentro de un interfaz visual basado en piezas que se encajan como un puzle, evitando así errores de sintaxis y estructura. *Scratch* se ha introducido con fuerza en la educación infantil, sirviendo como plataforma de iniciación a la programación para niños en todo el mundo.

El mismo modelo de programación se emplea en el sistema *Midstorms* de Lego, lo que permite construir robots y otros dispositivos motorizados y con sensores, ampliando el rango de acciones de la primitiva tortuga del Logo original.

El lenguaje Logo ha conseguido de este modo, 50 años después de su creación, extenderse globalmente como sistema didáctico para la introducción de la programación y el pensamiento lógico en ordenadores en la educación infantil.

SuperCollider

Supercollider es un lenguaje para la creación musical que combina elementos de la programación funcional con sintaxis semejante a la de C en un entorno de ejecución constante en tiempo real semejante a MAX/MSP. Creado en 1986 por James McCartney para superar las limitaciones de esos sistemas, incluye todo tipo de generación de sonido por síntesis y su procesamiento y manipulación, así como la composición algorítmica y la construcción de «instrumentos» con interfaz gráfica (McCartney 2002). Se ha convertido en una potente plataforma para la interpretación y composición musical, siendo especialmente versátil en actuaciones en directo y conciertos de *Live coding*.

Live Coding

Llegando al presente, nos encontramos con una corriente de arte digital que realmente hubiera sorprendido a los que utilizaron aquellos ordenadores en los que trabajosamente introducían el código mediante tarjetas perforadas.

Hoy se realizan sesiones en directo en las que los participantes crean contenido, material visual y sonoro, escribiendo y lanzando instrucciones de código en tiempo real. Los sistemas son tan potentes y flexibles que posibilitan esta interacción frente al público, produciendo contenido generativo y creando una experiencia multimedia inmersiva completa, todo en el momento.

Estas prácticas, conocidas como *Live Coding*, hubieran parecido cosa de ciencia ficción en los tiempos de los mastodónticos ordenadores de aquellos centros de cálculo. Si alguno de aquellos artistas hubiera podido imaginarlo, hubiera parecido un sueño del futuro, algo totalmente imposible y quimérico. No subestimemos sin embargo la capacidad de imaginación y anticipación de aquellos pioneros, recordando cómo Mallery describe en su texto sobre la creación cibernética un futuro con sistemas autónomos creativos e inteligentes. En los 60s y 70s, el futuro era algo prometedor, lleno de delicias tecnológicas, que llevarían a la humanidad hacia una nueva etapa de desarrollo.

Para las prácticas de *Live Coding* suele utilizarse el lenguaje de programación *Python*, ya que cuenta con un núcleo que está en continua ejecución, al que podemos lanzar comandos sin necesidad de compilación. De este modo, los procesos que crean los gráficos y sonidos no se detienen, y nosotros podemos añadir instrucciones y manipular el material en directo. Proyectos como *Tidal Cycles*, *SonicPi*, *Hydra*, o *Praxis Live* se centran en estas actuaciones de código en directo, combinando a veces lenguajes como *Java*, *Python* y *SuperCollider* en entornos pensados para estas actuaciones.

IA

La quimera cibernética parece estar materializándose en nuestra época: *software* inteligente, capaz de realizar funciones complejas sin la asistencia de un operador humano. Poco a poco los ordenadores han sido capaces de desempeñar tareas creativas, como jugar al ajedrez o al *go*, componer música o crear narraciones o imágenes artísticas. De la mano de las grandes plataformas comerciales en la red, movidas por grandes intereses económicos, nuevas formas de manejar grandes cantidades de datos como el *Deep Learning* han conseguido realizar procesos con una forma de inteligencia propia, extraña a lo humano. Llegamos al momento en que la humanidad dependerá de ordenadores para la mayoría de las funciones de logística y organización económica y social, sin comprender ni poder intervenir en los procesos que realizan.

Llegamos así a la última fase imaginada por Mallery en el desarrollo de la cibernética, a ese futuro apenas imaginado y entonces de ciencia ficción.

Los avances tecnológicos nos han conducido ahí, pero al mismo tiempo han surgido algunos factores no deseados, que nos conducen a un terreno distópico, alejado de aquel imaginario de optimismo tecno-utópico. *Blade Runner* y todo el imaginario *cyberpunk* parece estar materializándose en una sociedad de control total y un planeta al borde del colapso ecológico.

El ser humano ha llegado a una nueva etapa en la que sólo puede existir como organismo conectado y dependiente de la capa de organismos tecnológicos que ha construido. Su futuro depende por tanto de cómo pueda conducir esta relación de interdependencia, y su impacto sobre el planeta tierra.

Hemos llegado al futuro, pero quizás no es el futuro que esperábamos. El futuro pertenece a los sueños de aquella época cargada de confianza en la tecnología y todavía inocente.

6.3. El nuevo arte digital

Artistas posteriores: los 80s y 90s. La difícil travesía de final de siglo.

En los 80s y 90s, lo digital comienza a apoderarse de todos los estadios de la cultura, la economía y la industria, pero encuentra un difícil lugar en las artes. Los ordenadores personales y los micro-ordenadores, presentes en casi todos los hogares en el primer mundo, han facilitado el acceso a las prácticas digitales a las nuevas generaciones. Los videojuegos crean una cultura que moldeará a niños y jóvenes, una cultura basada en píxeles, paletas de color indexado y sonido de 8bits.

Algunos artistas se acercan a estos sistemas y experimentan con sus posibilidades. Estos pequeños ordenadores siguen siendo demasiado limitados para grandes proyectos artísticos: es difícil incluso conseguir una salida de calidad de imágenes o sonidos. Las impresoras todavía están en una etapa primitiva de desarrollo, generando imágenes de muy baja resolución. Nadie puede soñar que algún día los sistemas fotográficos existentes, con su altísima calidad de imagen, serán reemplazados por impresoras y cámaras digitales.

El artista digital explora las posibilidades de disidencia y activismo en la naciente red en el primer *Net.art*, como JODI, especula con las aumentaciones del cuerpo *cyborg*, en encuentros distópicos inspirados en el imaginario *cyberpunk* como Chico MacMurtrie y Stelarc. Sueños de cuerpos alterados y disolución de estereotipos de género en el ciberfeminismo de Donna Haraway, VNS Matrix y Shu Lea Cheang.

El polifacético artista Brian Eno, tras consolidar el concepto de música *Ambient*, se aventura en distintos proyectos de arte generativo. Partiendo de sistemas basados en el azar en sus Estrategias Oblicuas, produce obras de arte digital generativo en plataformas como Koan o Noatikli. Plantea piezas que se generan mediante procesos, de modo que nunca producen el mismo resultado, sino variaciones sobre la idea definida por el autor.

Partiendo de esta idea se consolidará el concepto de Arte Generativo como una de las corrientes más importantes en el nuevo arte digital. Este nuevo arte generativo explora las posibilidades para la creación de formas, imágenes y sonidos de los sistemas basados en agentes autónomos con comportamiento emergente. Relacionado con el arte algorítmico, la vida artificial y las nuevas teorías de sistemas complejos y comportamiento emergente, lleva a un nuevo nivel las ideas de creación generativa que manejaron los pioneros, basadas principalmente en reglas deterministas, enriquecidas levemente con cierta aleatoriedad controlada.

Artistas como Marius Watz trabajan casi en solitario con estos conceptos en las artes visuales. Relegados a un extraño rincón de «arte electrónico» en ferias y museos, no acaban de encajar en el mundo del arte comercial. Con las nuevas plataformas de programación nacidas en el umbral del siglo XXI, nuevos artistas se sumarán a esta corriente, que poco a poco empieza a entenderse y reconocerse internacionalmente. Golan Levin, Casey Reas, Zachary Lieberman, Ben Fry o Jer Thorp exploran las posibilidades de creación de los nuevos sistemas digitales, mucho más potentes y adecuados para el trabajo con imágenes, formas y sonidos, y al mismo tiempo se convierten en divulgadores de las nuevas herramientas y el interés por la cultura del código.

Los videojuegos, forma de entretenimiento vilipendiada y asociada a las peores formas de comportamiento juvenil, atraen la mirada de artistas. Tratados como referencia formal, analizados en sus comportamientos sociales o profundizando y alterando sus mecánicas y sistemas, los artistas juegan con el medio alterando contenido, aspecto y funcionamiento (Mevorah 2017). Algunos de los artistas más interesantes y con trabajo de largo recorrido son Cory Arcangel, Julian Oliver y Brody Condon.

En Berlín aparece una galería de arte dedicada completamente al arte digital: DAM, de Wolf Lieser. Los artistas empiezan a sentir su trabajo reconocido en los circuitos del arte. En realidad, comienza a expandirse una nueva esfera de arte digital y tecnológico que encuentra su espacio propio, sin necesidad de acceder a los espacios ocupados por los artistas tradicionales.

Distintas plataformas en internet y diversos festivales internacionales sirven de punto de encuentro y difusión de estas artes⁶²: Rhizome, Ars Electronica, FutureCulture, Lab(au), Carnivore, AbstractionNow, Transmediale, FILE, Píksel...⁶³

El salto al siglo XXI ha supuesto un cambio total de paradigma. Los medios de comunicación son ya digitales. Todos los sistemas económicos y productivos se han convertido a la tecnología digital. La humanidad ha pasado a una fase de dependencia absoluta respecto a esta capa tecnológica, la tecnosfera. La nueva cultura digital, desde los videojuegos, la música electrónica, los videoclips a las redes sociales ha provocado la aparición de nuevos escenarios para la creación, nuevas plataformas, redes y espacios. Centros de arte, encuentros, seminarios, foros, festivales y por supuesto la red sirve para el encuentro, difusión y divulgación de la nueva cultura digital. Artistas y aficionados encuentran espacios para la creación y para compartir ideas intereses al margen de las grandes instituciones del arte.

Hablamos de era post-digital en la que ya no tiene sentido decir que algo es digital porque entendemos que todo es digital. Las ideas y prácticas que motivaron a los pioneros del arte computacional se han extendido y constituyen el tejido natural de la nueva cultura. Más rápido de lo que imaginamos, el futuro ya está aquí, aunque no es el futuro brillante que imaginamos sino un futuro lleno de incógnitas e incertidumbres sobre nuestra relación con la tecnología y su sostenibilidad.

⁶² https://web.archive.org/web/20070809101606/http://www.evolutionzone.com/kulturezone/futurec/index_body.html

⁶³ <http://iasl.uni-muenchen.de/links/NALinke.html#Beitraege>

7. Algunas respuestas

7.1. «Un encuentro», marzo de 2012. LUGÁN

Como trabajador en electrónica en aquellos años (1969), yo tenía una cercanía a todo lo que era la evolución tecnológica. Todos los técnicos tenemos un acercamiento a las máquinas, a los motores, a todo aquello por lo que transita la electricidad, que nos da una cierta sensibilidad de percibir, no solamente el calor o el voltaje que tienen determinados componentes cuando están funcionando; sino que cuando están fuera de uso algunos componentes todavía conservan aquel residuo eléctrico que al tocarlos desprenden un pequeño voltaje que te hace pensar que todavía están vivos, que todavía pertenecen al mundo en que vivimos.

Los electrónicos, en general, tenemos un respeto por todos aquellos artefactos que han hecho un servicio para lo que estaban destinados, y que conservan algún tiempo después, además de su belleza intrínseca como elementos plásticos, algún residuo de aquel servicio que estaban prestando.

Esto es lo que me motiva a decir que cuantas veces he hablado del *Computador de desguace sensible al tacto humano* quiera contar qué sentí al tocarlo, contar que percibía un leve, un pequeño temblor en sus aristas. Y es cierto, aquel computador todavía conservaba en su chasis, en sus componentes, parte de aquel servicio que había ofrecido durante muchos años.

Esta pequeña vibración percibida siempre se puede traducir en una prolongación de la vida de los componentes, o de los elementos que componen una construcción electrónica, o un elemento de servicio para la comunicación, o para el establecimiento de determinadas ideas que a los artistas se nos puede ocurrir.

Todo esto viene al caso de que toda la historia a partir de esos años en que yo estuve allí, completamente absorto por el trabajo y por el descubrimiento de aplicaciones de los elementos tecnológicos para realizar obras de arte, me

inducía a tener un mundo muy unitario entre lo que era el servicio de las máquinas, o de los elementos tecnológicos, y el de su aplicación a determinadas ideas que con el uso de estos elementos técnicos y tecnológicos se podían alcanzar, y que por otro lado era muy difícil lograrlo por la vía de la plástica tradicional.

Todo ello me empujaba a tener siempre presente que en todas las ideas que me surgían inmediatamente buscaba cuál era el vehículo esencial, elemental y profundo para lograr las ideas que yo tenía en mente, y poderlas llevar a cabo a costa del empleo de estos elementos tecnológicos. Quisiera destacar que todo ese mundo tecnológico en aquel tiempo evolucionaba de una manera rápida, pues cada día aparecían en el mercado nuevos componentes que hacían posible realizar cosas que hasta ese momento habían sido imposibles.

Aplicar esto a las ideas que yo tenía de participación del espectador en la obra de arte, de la expresión de determinados elementos de combinación plástica y de sonidos, y también integrar efectos lumínicos o efectos de movimiento.

La evolución de los elementos electrónicos daba lugar también a que me surgieran varias ideas por el deseo que tenía yo de hacer participar al público, al espectador, a todas las personas que visitaban las exposiciones a interesarse por la obra de arte, transformarla incluso.

Me llevó mucho tiempo el investigar y el lograr como podría unir a determinadas esculturas o instalaciones plásticas la posibilidad de que el espectador pudiera penetrar en el mundo de esa obra y transformarla e integrarse en ella. De ahí surgió la idea de las obras táctiles, a través del tacto creí yo que podría ser el elemento en el que se podía integrar un espectador con una escultura, entonces surgieron algunas obras como *Los grifos sonoros*. El grifo era un elemento plástico muy atrayente con materiales muy seductores como el acero inoxidable, y que el espectador al manejarlo, al abrir la llave del grifo en vez de salir agua salían sonidos, pero los sonidos estaban modificados según el manejo que hacía de la manivela del grifo. Si se cerraba el grifo se acababa el sonido, si levemente lo abría el grifo hacía un sonido de goteo, y si lo abría del todo salía un chorro sonoro que llenaba toda la sala de exposiciones. Esta fue una de las obras iniciales de la participación del espectador en la obra de arte.

Ocurrió que tuve la invitación a participar en la Bienal de Venecia de 1972, y entonces proyecté cuatro grifos sonoros para que en la exposición los espectadores pudieran maniobrarlos. Cada grifo tenía unas secuencias, o la tienen porque los grifos están actualmente en el Reina Sofía. Estos grifos cau-

saron un verdadero impacto, tanto es así que llegaron incluso a inutilizarlos del exceso de fervor de los espectadores por poder sacar sonidos de los grifos. Estaban, o están, armonizados de forma que se puedan combinar entre ellos diversos efectos sonoros.

Los días que estuve en la Bienal contemplé con asombro como la gente manejaba aquellos grifos de una manera verdaderamente admirable, poniéndose de acuerdo un grifo con otro en destacar determinados sonidos rítmicos más lentos para que jugase con el sonido de los otros grifos. Por todo ello comprendí que podía desarrollarlo de una manera mucho más eficaz, haciendo todavía más ricas las posibilidades de sonido de cada grifo. Y al final, cuando terminó la Bienal de Venecia, estos grifos me los adquirió el Museo de Arte Contemporáneo y yo hice los cambios fundamentales para que funcionasen no solamente individualmente, sino en conjunto como un cuarteto musical, y este fue una de las obras de participación del espectador que creo que ha tenido un logro o un atractivo para las exposiciones donde han estado.

Después hice una serie de esculturas que, al acercarse, la escultura generaba determinados ritmos, determinadas preguntas incluso al espectador y según las contestaciones que daba, así la máquina respondía con un sonido agudo o con un sonido grave. Todo esto lo he venido exponiendo en distintas galerías, y la satisfacción de ver el atractivo que tiene la obra de participación me hace que haya continuado haciendo obras de participación.

Otra obra de participación mía es un encargo que tuve de Mario Fernández Barberá de realizar una escultura con una tirada determinada de ejemplares: *La mano térmica*, la mano con calor, la mano metálica con calor humano. El espectador puede tocar la mano y percibir que el frío metal se convierte en calor humano. Estas manos han tenido un éxito de aceptación muy grande, y yo he seguido exponiéndolas por el atractivo que tiene el efecto sensorial que causa sorpresa en el espectador, que no sabe que aquello que toca es un elemento inanimado metálico (están hechas en aluminio pulido e interiormente tiene una resistencia que da una temperatura aproximadamente de unos 38° C). La mano se puede sacar del soporte y distribuir entre la gente que está visitando la exposición; lógicamente el aluminio conserva la temperatura durante un tiempo bastante largo y todo el mundo disfruta de este proyecto tan cercano al ser humano como es acariciar una mano caliente.

He hecho otras cosas con temperatura también y sigo investigando sobre este tema, por ejemplo con esculturas que lanzan aire frío y caliente al acercarse, como una respiración.

Cuando me llegó la invitación para integrarme en el grupo del Centro de Cálculo estimé que, como en esos años estaba yo tratando de hacer determinadas cosas, me podía salir del campo que más me interesaba. De todas maneras acepté y puse como condición que yo no iba a hacer ningún programa informático, sino que iba a incorporarme en lo que era el material técnico para investigar en él. Se aceptó mi propuesta y efectivamente, aunque yo ayudé a compañeros en proyectos que estaban tratando de realizar, no quise salir de ese aspecto de realizar obras, obras físicas. La programación no era un elemento que a mi me atrajera en aquellos momentos y opté por meterme de lleno en el mundo tecnológico de los computadores, pero de lo que es la máquina y los computadores tangibles, físicos, con sus materiales y sus posibilidades, como ya he comentado en alguna ocasión, para transformarlos o darles lo que yo denomino «una nueva vida». Y estuve hasta el final integrado en el grupo y dando mis opiniones también, pero sin participar en realizar ningún programa de tipo informático, y ahí terminó mi participación en el grupo, cuando se terminó el Centro de Cálculo.

Un encuentro. Primavera del año 1969.

Un grupo de artistas participábamos en los Seminarios del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid. Cada artista presentó su proyecto y se discutía su viabilidad computable y los resultados posibles.

Mi proyecto se dirigía en el tratamiento y manipulación de los componentes y circuitos electrónicos que integran el Computador. Integrarlos en montajes y esculturas y darles nuevas aplicaciones electrónicas o ser elementos de composición plástica.

Por mediación de Mario Barberá, solicité visitar las instalaciones del almacén y desguace de computadores, con la opción de rescatar piezas que fueran de mi interés.

Mi primera visita tuvo un principio inquietante. Entré en la gran nave donde se almacenaban los bastidores, chasis, transformadores, tarjetas, circuitos impresos, etc. Contemplé con asombro como varias personas utilizando grandes mazas, machacaban, fragmentaban y destruían aquel maravilloso, filón tecnológico. Allí estaba todo lo que yo buscaba. La sorpresa me paralizó pero inmediatamente pedí que suspendieran por un tiempo la masacre. Ante mí había un panorama desolador, entre el amasijo de materiales rotos, algún motor y algunos componentes todavía se movían. Contemplé como un gran conden-

sador electrolítico reventaba y despedía al aire en espirales las cintas de su material interno.

Me indicaron la zona donde podía encontrar máquinas sin desmontar. Por segunda vez me sorprendí. Frente a mí estaba, potente, desafiante, un Computador completo. Me acerqué y acaricié su superficie, sus aristas, y noté un leve estremecimiento en su aparente rigidez. Le hablé, le comenté mi proyecto, la nueva vida que quería darle. Allí nació la obra *Computador para desguace sensible al tacto humano*.

COMPUTADOR PARA DESGUACE SENSIBLE AL TACTO LUGAN 1969

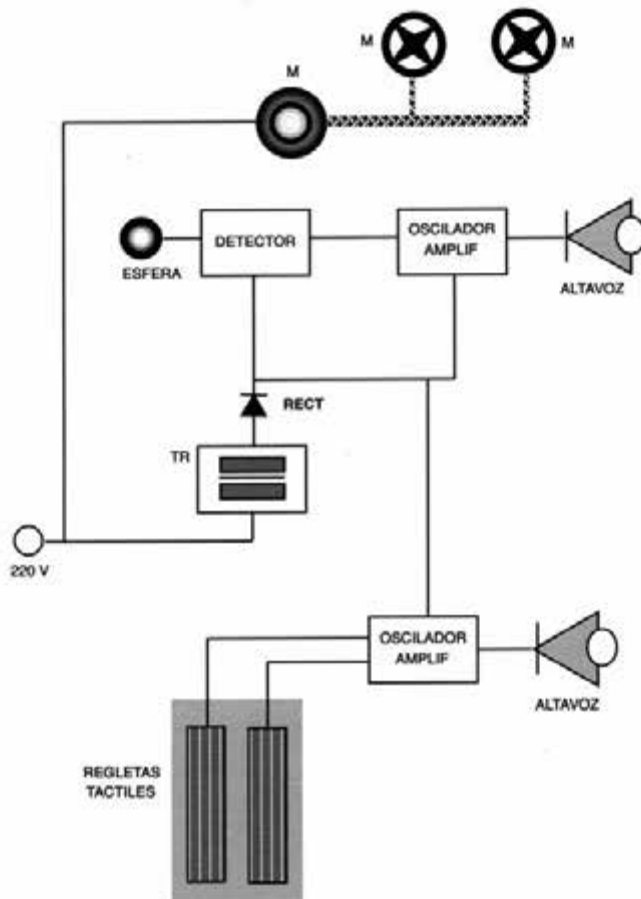


Figura 47. Esquema de funcionamiento.

7.2. «La máquina». Isidro Ramos

La novedad que representaba en la España de los 60 las computadoras (del inglés *computer*) u ordenadores (del francés *ordinateur*) hizo que importáramos, además del artefacto, también la terminología al uso; a nosotros, y por generalizar, nos gusta utilizar una tercera denominación: el término «máquina». Buscando una definición del mismo, encontramos: «Del latín *machīna*, un máquina es un aparato creado para aprovechar, regular o dirigir la acción de una fuerza. Estos dispositivos pueden recibir cierta forma de energía y transformarla en otra para generar un determinado efecto».

En nuestro contexto, la funcionalidad principal de la máquina (su efecto) no es tanto la conversión mecánica de fuerzas soportada por la máquina física como la realización física de un autómata programable, capaz de realizar cálculos descritos por un programa que obtiene partiendo de unos datos unos resultados. Usaremos indistintamente en el capítulo los tres términos.

Hoy en día los ordenadores forman parte del contexto cotidiano de la sociedad, y adquieren distintas formas según su función: teléfonos inteligentes, ordenadores portátiles, tabletas, libros electrónicos, tableros de anuncios, etc. Pantallas de distintos tamaños son ventanas permanentes al ciberespacio y no causan sorpresa en los autobuses, calles o lugares públicos. De hecho, lo extraño en un autobús público de una ciudad universitaria es ver a alguien no pendiente de una pantalla.

Eso no era así en los años 60. Sencillamente, dispositivos como los actuales no existían. La llegada de la máquina al Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid (CCUM) implicó grandes preparativos previos para generar el contexto adecuado a su instalación: preparar la sala de máquinas, el falso suelo para el cableado de sus componentes, el aire acondicionado, el convertidor de frecuencia... y en concreto construir el edificio diseñado por el arquitecto Miguel Fisac. Todo ello precedido por las gestiones, decisiones, reuniones, etc. que hicieron posible la adquisición de la máquina por parte de la Universidad de Madrid.

Fue necesario también formar el equipo de personas que la iban a hacer operativa. Y así se crearon distintos perfiles profesionales: personal de operación (Operadores), perforación (Perforistas) y mantenimiento de la máquina (por parte del Equipo IBM de mantenimiento), analistas, programadores, más el equipo directivo, con una experiencia contrastada internacional en el tema.

La máquina IBM 7090

Pero... ¿qué es lo que llegaba? ¿Qué es lo que suscitaba tanto esfuerzo previo?

¡El (o la) IBM 7090 Data Processing System! ¡El primer superordenador que se instalaba en España! Era «La Máquina», el mayor cerebro electrónico –como también se le llamaba–. Este último e inquietante término mostraba el miedo y curiosidad desde los que se recibió el 7090 en el Madrid de los 60.

IBM anunció la 7090 el 30 de diciembre de 1958 y dejó de fabricarla el 14 de julio de 1969. Era el ordenador más potente creado hasta la fecha por IBM. Con tecnología de estado sólido, pertenecía a la Segunda Generación de ordenadores, caracterizada por el uso del transistor reemplazando a lámparas de vacío, mucho más lentas y poco seguras. Poseía una velocidad de cálculo 6 veces mayor que la de su predecesor de tubos de vacío –el IBM 709– y 7,5 veces la del IBM 704.

Concebido para cálculo científico, el IBM 7090 se usó en los proyectos espaciales *Mercury*, *Gemini*, y *Saturn* de la NASA. Por ejemplo, en la década de 1960, la NASA simuló en una computadora IBM 7090 el vuelo del cohete *Saturn* a la Luna múltiples veces antes del vuelo real. Antes de la llegada del 7090, los cálculos científicos necesarios los realizaban equipos de personas (calculistas) armadas con calculadoras mecánicas y que permitían calcular y simular por ejemplo, el amerizaje de la cápsula espacial a su regreso a la Tierra en el sitio y momentos adecuados para ser recuperada a tiempo por la *US Navy* antes de que se hundiera. Estos equipos de calculistas tuvieron que reconvertirse al nuevo paradigma tecnológico que se creaba con la llegada de la 7090.

Fueron tres mujeres brillantes las que lideraron dicho cambio del cálculo humano con calculadoras mecánicas al cálculo electrónico con el 7090. Nuevamente, y como ya ocurrió con Lady Lovelace (primera programadora de la historia), así como con otras científicas, se silenció y se silencia dicho hecho en los libros de ciencia y tecnología informática. En particular, Dorothy Vaughan, que supervisaba a los equipos previos de calculistas aprendió a programar en Fortran por sí misma, puso el sistema en marcha y formó a los nuevos programadores y operadores.

El IBM 7090 fue también ampliamente usado en la detección de misiles, ingeniería aeronáutica, cálculo de trayectorias de vehículos espaciales (como el ya mencionado proyecto *Saturn*). También se usaba en aplicaciones de teleproceso, gestión de inventarios, contabilidad, control de producción y otras aplicaciones de gestión masiva de datos.

El *hardware*

El IBM 7090 contaba con más de 50000 transistores (lo que incidió en la producción y diseño de dichos dispositivos de estado sólido) y una rápida memoria de ferritas de 32768 palabras de 36 bits usadas para representar datos (en código *Binary Coded Decimal*, o BCD) o instrucciones. Podía leer/escribir simultáneamente 3 Megabits de información por segundo con sus 8 canales (usando un multiplexor) de entrada/salida. Esta tecnología le permitía realizar 229000 sumas o restas, 39500 multiplicaciones, o 32700 divisiones por segundo.

Heredó y fue compatible con los programas desarrollados para sus predecesores (IBM 704, 709, 7070) y, lo más importante, la facilidad de uso para los desarrolladores de *software* dada la compatibilidad de su conjunto de instrucciones, lo que permitía la reutilización del software de base previo: sistema operativo IBSYS, compiladores de FORTRAN y COBOL, macroensamblador MAP, bibliotecas de programas, etc. todo ello permitió la rápida asimilación de la 7090 en los Estados Unidos, pero no en el Madrid de los 60, donde no existía dicha experiencia previa. Todo ello exigió una costosa arrancada en frío tanto del personal técnico de instalaciones, del *hardware* y también del *software*, que debió ser formado mediante cursillos previos (algunos de dos años de duración).

La velocidad de cálculo del 7090 se acompañaba con una mayor velocidad de entrada/salida haciendo uso para ello de un multiplexor de 8 canales como hemos dicho. A dichos canales podían conectarse cintas magnéticas (10 por canal), y 8 perforadoras o/e impresoras que mitigaban la enorme diferencia de velocidad entre los cálculos y la entrada/salida de datos. Dicho problema se paliaba más aún en la configuración que se instaló en el CCUM usando un ordenador satélite: un IBM 1401 que compartía cintas magnéticas de vacío con el 7090 y al que estaban conectadas la impresora de líneas IBM 1403 y la lectora de tarjetas. De esta forma, los lotes (*batches*) de programas y datos eran cargados *offline* en las cintas compartidas, y los resultados impresos de forma asíncrona y por lo tanto desacoplada del 7090. Las cintas magnéticas eran más rápidas en el trasiego de información que la impresora o lectora de tarjetas.

La 7090 ocupaba menos espacio y requería menos potencia consumida y frigorías que sus predecesoras. Su diseño modular permitía un mantenimiento y accesibilidad más fáciles al estar formada por módulos verticales con ruedas fácilmente extraíbles y que daban acceso a los cientos de tarjetas de com-

ponentes discretos que implementaban su funcionalidad, así como a los puntos de test. Se construía en la planta de IBM en Poughkeepsie, New York, y costaba en aquellos momentos 2898000 dólares EE.UU. en una configuración media; podía también alquilarse a un precio mensual de 63500 dólares USA.

El software

El sistema operativo instalado en la máquina (IBSYS 13.20) aceptaba lotes de trabajos de la cinta magnética de entrada que eran procesados secuencialmente y cuyos resultados se grababan también secuencialmente en la cinta magnética de salida para ser impresos posteriormente y de forma asíncrona haciendo uso de los mencionados IBM 1401 e IBM 1403.

Los trabajos se soportaban sobre tarjetas perforadas de 80 caracteres BCD⁶⁴ y eran paquetes ordenados de fichas separadas por instrucciones al sistema operativo sobre la componente a usar (compilador, ensamblador, cargador, gestor de cintas...) para procesar las fichas siguientes. Una secuencia de trabajos era procesada y sus resultados impresos antes de pasar al siguiente lote.

Los programas que indicaban a la máquina los cálculos a realizar se escribían en lenguajes de programación de alto nivel, FORTRAN IV Y COBOL 60 principalmente, aunque posteriormente se incorporaron ALGOL 60, GPSS, etc. Dichos lenguajes de programación simplificaban notablemente la tarea de programación y eran traducidos al lenguaje de la máquina por compiladores. Los compiladores eran grandes programas (el de FORTRAN tenía unas 30000 instrucciones) que generaban aproximadamente diez instrucciones máquina por cada instrucción fuente escrita por el programador. Los programas eran preparados por los programadores usando máquinas perforadoras de fichas (como la IBM 024 y la IBM 026) y depositados en el casillero asociado a cada programador (usuario) para ser procesados por los operadores y obtener los resultados sobre papel de líneas de 132 caracteres que se depositaba en el mismo casillero.

Un programa que funcionaba correctamente era una pieza valiosa de software que podía usarse posteriormente en combinación con otros para realizar programas más complejos. Así, aparecieron bibliotecas de programas temáticas como BMD y BMD-P de Estadística en el campo biomédico o MATHPACK en el matemático, cuyo uso facilitaba grandemente la construcción

⁶⁴ Código normalizado creado por IBM de seis caracteres binarios con el que se podían codificar letras, número y signos para ser inscritos en tarjetas perforadas.

por composición de nuevos programas y constituirían valiosos repositorios del conocimiento acumulado.

En un principio, solo unos pocos iniciados eran capaces de programar. El CCUM realizó una ingente labor de formación de programadores mediante los cursos de formación de usuarios sobre programación en FORTRAN IV, COBOL 60, ALGOL 60, AUTOCODE 1401 y MAP, entre otros. Igualmente desarrolló formación sobre el uso de bibliotecas de programas como las mencionadas anteriormente.

Los usuarios disponían de horarios de consulta con los analistas y de asistencia en las dudas y errores a cargo del personal del CCUM. El Centro de Cálculo expandió los conocimientos sobre programación y en general sobre Informática a nivel de todo el estado español usando una red de becarios (que formó previamente) en las otras universidades, y que, entre otras labores, estaban encargados de la asistencia local a los usuarios y del envío y recepción de trabajos al CCUM mediante empresas de mensajería.

La confección de un programa era –y es– una labor difícil. No solo se debía conocer el problema a resolver en el dominio correspondiente (Química, Física, Medicina...) sino su solución algorítmica (obtenida mediante lo que ahora llamamos Pensamiento Computacional) y la plasmación de dicha solución (su programación) en el contexto *software* concreto del que se disponía. Este proceso de producción de *software* se plasmaba en un ciclo de vida que comenzaba con el Análisis del problema, el Diseño de la solución mediante Diagramas de Flujo (dibujados usando reglas perforadas), su escritura en Hojas de Codificación (Programación) y su perforación y verificación sobre tarjetas perforadas (80 columnas caracteres BCD) para obtener el programa sobre un paquete de tarjetas a someter a la máquina.

Toda una familia de máquinas clásicas –perforadoras IBM 024 e IBM026, clasificadoras, duplicadora, tabuladoras, etc.– soportaban dicho ciclo de vida.

Existía un protocolo de operación (uso) del CCUM apoyado por procesos bien definidos y recursos físicos, como los mencionados casilleros de usuarios locales y remotos donde se depositaban las tarjetas y de donde se recogían los listados.

Era difícil acertar a la primera, no cometer un error, y el ciclo de vida se repetía, bien para eliminarlos, bien para perfeccionar la funcionalidad descrita, en unas fases de Mantenimiento correctivo y perfectivo –siendo los usuarios apoyados por las consultas a los analistas– hasta que finalmente se obtenía el resultado deseado.

Dominios de aplicación

En un principio, fueron los usuarios de dominios formalizados los que por desarrollo propio o importado de programas usaban la máquina. Físicos, astrónomos y matemáticos construyeron complejos programas. El dominio de los problemas era formal, esto es, se disponía de un lenguaje matemático y de unas soluciones fácilmente algoritmizables que facilitaron y propiciaron el uso inicial del ordenador en dichos dominios. Esto también ocurrió así en el CCUM: los primeros dominios de informatización provenían del Cálculo numérico, estadístico, Física, Química...

Con el tiempo empezaron a aparecer experiencias curiosas en otros dominios informales. Por ejemplo, la presencia de dispositivos electromecánicos móviles en las instalaciones de la máquina (como la impresora de martillos IBM 1403) producían sonidos que hábilmente combinados podían asimilarse a melodías conocidas (era típico el *Himno a la alegría* de Beethoven). Por otra parte, superposiciones de caracteres podían originar gamas de grises y dar origen a figuras en claro-oscuro y representar formas conocidas (es célebre la *Gioconda*). Finalmente, los trazadores de líneas (*Plotters*) permitían el dibujo lineal... En definitiva, eran meros juegos ingeniosos para entretenimiento de los usuarios, pero poco a poco el ordenador se convertía en un instrumento versátil (aunque inicialmente tosco) si se sabían trasladar las partituras o imágenes al hardware correspondiente.

Otras experiencias más avanzadas abrían el camino a la creatividad. Por ejemplo el compositor Iannis Xenakis, una de las grandes figuras de la música contemporánea, concretamente de la música estocástica, utilizó un IBM 7090 para componer la primera obra estocástica realizada por un ordenador, la *ST/10-1*. Y en 1962 *Music From Mathematics* fue interpretada por un ordenador IBM 7090. En otra dirección, juegos algoritmizables como el ajedrez podían programarse, y con ello los ordenadores también podían jugar al ajedrez. Es de todos conocido la superioridad de los grandes computadores actuales a este respecto.

En definitiva, aparte de servir para investigaciones y cálculos científicos, poder guiar misiles, reservar vuelos o preparar la contabilidad de una gran empresa, la IBM 7090 podía hacer otras cosas, algo que nadie hasta ese momento había pensado que podría ocurrir y ni siquiera IBM lo había sospechado.

Quizás el ejemplo extremo es que ¡la IBM 7090 también podía cantar! Daisy es una pieza musical cuya voz fue programada por John Kelly y Ca-

rol Lockbaum y el acompañamiento musical por Max Mathews en 1961. En 1962, en los Laboratorios Bell se grabó un disco con composiciones musicales interpretadas por la IBM 7090 usando un transductor digital-analógico especial. El disco se llamó *Music from mathematics*.

Todas estas fueron experiencias pioneras, muy curiosas, en las que el ordenador hacía el papel de un instrumento, de una voz que reproducía la partitura creada por el músico, dibujos creados por un pintor, por un algoritmo matemático... Pero en ellas no se abordaba lo que, desde nuestra perspectiva, fue la gran aportación del CCUM en estos dominios y describimos a continuación.

La algoritmización de la creatividad en dominios no formalizados

En los años 60 del S. XX se desarrollaron en el CCUM una serie de aplicaciones informáticas (Programas) en dominios no formalizados como la Pintura, la Arquitectura, la Escultura y la Música, entre otros. Estas aplicaciones, contrariamente a lo que uno pueda pensar, eran profundamente diferentes a las experiencias previas expuestas ya que introdujeron el Método Científico newtoniano en el proceso de creatividad permitiendo el *feedback* entre teoría y validación en el laboratorio, tal como el método científico prescribe. La iteración –los ciclos de realimentación– en dichos procesos fue lo que condujo a los resultados programados en Pintura, Música, Escultura, etc. de los seminarios del CCUM.

¡La creatividad era vista dentro del marco de la formalización de los dominios informales!

Inicialmente se partió de la base de que en los dominios existían objetos (*facts*) que captábamos mediante los sentidos –por ejemplo, con la vista o el oído– y que para ser comunicados necesitaban de un soporte sensorialmente detectable como la escritura textual, gráfica, musical, los planos arquitectónicos, etc. Dichos soportes son los que permiten compartir los universos culturales semánticos de los actores del dominio, (los creadores) con otros o con uno mismo, en los procesos de reflexión.

La necesidad de un lenguaje emergía, pues, para poder representar, comunicar o reflexionar sobre dichos *facts* de forma individual o colectiva.

En los llamados dominios formalizados ese lenguaje existe desde antiguo. En el caso de la Física, la percepción formalizada de la Naturaleza (su dominio), se soporta sobre un lenguaje formal con sintaxis y semántica bien definidas: ecuaciones diferenciales y otros formalismos matemáticos;

la percepción se realiza mediante observaciones que se plasman en medidas hechas con instrumentos que aportan *facts* formalizados (por ejemplo dimensiones, posición, luminosidad...); las medidas y sus relaciones se plasman en leyes (predicados, teorías matemáticas,...) que permiten predecir o razonar sobre nuevos hechos, puesto que los lenguajes formales suelen disponer de un Sistema Deductivo.

Este conjunto de *facts*, leyes, sistemas deductivos, etc. permiten la creación de objetos culturales complejos como la Teoría de la Relatividad o la Teoría del Electromagnetismo de Maxwell, por citar dos grandes hitos de la Física, que permiten ser validados o refutados empíricamente mediante la observación en el laboratorio o en el dominio, originándose así el mundo de la Ciencia y la Tecnología.

Quedaba abierto a la creatividad de los científicos el proceso de obtención de las Teorías, Sistemas de deducción (Lógica, Algebraica,...) y los algoritmos y dispositivos que los implementan así como su validación empírica en su dominio o en el laboratorio.

En las Artes, los *facts* –en este caso, las obras– no se solían representar usando lenguajes formalizados. Ello impedía el desarrollo de Teorías que permitieran plantear propiedades como la corrección o validez y fueran capaces de responder a cuestiones como «¿qué es bello formalmente?».

La búsqueda de un lenguaje formal para dar dicho paso, así como los logros previos de varios artistas en *Pintura modular* (caso de Manuel Barbadillo), o Constructivista (como Mondrian o Yturralde con sus *Figuras imposibles*) permitieron, en los seminarios del CCUM, una primera aproximación lingüística al problema mediante variantes de las Gramáticas y Teoría de Grafos.

La idea motora fue que ciertos objetos artísticos (un cuadro, una pieza de música, un edificio) pueden ser descritos estructuralmente mediante gramáticas n -dimensionales, o grafos, en las que, para dar cuenta de las dos dimensiones de un cuadro, por ejemplo, se añade una nueva operación de concatenación vertical al monoide de los lenguajes lineales (dimensión horizontal), lo que da origen a una nueva estructura: un binoide. Es en esta nueva estructura algebraica en la que los objetos artísticos aparecen como frases (términos) de un lenguaje sintácticamente correctos contruidos usando dichas dos operaciones (o funciones, en notación funcional). Algunos de estos términos representan obras correctas (bellas, adecuadas) y otras no en una valoración en el Laboratorio (criterio del artista o los observadores).

La inferencia, partiendo de las obras correctas (desarrolladas por el artista), de las reglas que las describen produce una Teoría (el conjunto de reglas) en la que los procesos de generación deductivos, usando las reglas inferidas, permiten obtener nuevas frases posiblemente también correctas (a validar empíricamente) pero no creadas por el artista. Con ello, se logra disponer de una axiomatización (un conjunto de reglas o sea una Teoría) del concepto de corrección, de belleza o de utilidad (en el caso de la Arquitectura, por ejemplo).

En las experiencias realizadas en los años 60-70 en el CCUM, no solo se usó una vista estructural de los *facts* artísticos: se aplicaron también resultados de la Teoría del Color, de la Teoría de la Percepción (*Gestalt*), entre otras. Esas otras vistas de los objetos artísticos aportaban meta-informaciones que permitieron caracterizar de una forma más precisa los objetos estudiados, obteniendo así especificaciones formales mucho más precisas.

Conclusiones

La vista expuesta aquí se ha realizado desde una perspectiva informática, de pensamiento computacional. Desde la Máquina descrita previamente.

El escuchar a los actores de los distintos dominios no formales desde dicha perspectiva formal hizo emerger diversos tipos de aproximaciones que permitieron la algoritmización y desarrollo de programas que apoyaban la creatividad. Los resultados de dichos programas se sometieron a un proceso de validación empírica mediante exposiciones públicas de los nuevos objetos artísticos generados automáticamente (cuadros, esculturas, planos de edificios, piezas musicales,...) en conjunción con las obras originales de los artistas. Esto supuso introducir la validación empírica, el concepto de Laboratorio, en el mundo de la creación.

En definitiva, en los años 60-70 en el CCUM se construyó un puente con las Ciencias Duras (en este caso la Informática) y eran aplicables sus métodos: obtención de algoritmos correctos con una Teoría, y su plasmación en programas de ordenador, tal y como se hizo. Las exposiciones realizadas en los años 60 y 70 tenían dicho objetivo empírico, además de mostrar la nueva forma de abordar la creatividad. Las exposiciones realizadas más tarde, en los años 2012, 2014 y 2018 sobre los resultados de los seminarios del CCUM de los años sesenta, en el C arte C de la Universidad Complutense de Madrid, Universidad Politécnica de Valencia, etc. han mostrado la vigencia de dicho planteamiento y la validez de los trabajos realizados hace prácticamente medio siglo.

7.3. «El pasado, presente y futuro del pasado» Javier Seguí de la Riva

El pasado. (2008)

«Articular históricamente el pasado no significa conocerlo tal como verdaderamente fue. Significa apoderarse de un recuerdo tal como éste relumbra en un instante de peligro [...] En cada época es preciso hacer nuevamente el intento de arrancar la tradición de manos del conformismo, que está siempre a punto de someterla. Pues el Mesías no sólo viene como redentor sino también como vencedor del Anticristo».

W. Benjamin (Tesis sobre la historia y otros fragmentos, 2008).

Presente (072013)

Mi pasado está en los otros.

Yo lo siento como un abismo resonante.

Todo yo soy futuro. Sólo en algunas ocasiones he alcanzado el presente, brevemente. A veces el futuro me agobia, otras me entristece.

Futuro es proyecto y proyecto es imaginación y pasión, y anticipación y previsión. Pero el futuro, el gran futuro, es la muerte.

Futuro (11 de enero de 2018)

La vida se alimenta de futuros.

En ella todo es previsión... anticipación, ejercicio de posicionamiento en lo que se aventura que habrá de llegar. Para adaptarse a ello o tratar de cambiarlo.

En este acaeciente existir, el pasado es siempre pasado de un futuro, y el presente es presente de un futuro y de la disposición ante él.

Sólo hay futuro.

Sólo se puede vivir en el interior de un proyecto, aunque ese proyecto consista en interrumpir el futuro del presente y tratar de prolongar, en el tiempo, el transcurrir habitual olvidando la inevitabilidad de la muerte como sentido del vivir.

Sólo aceptando la muerte como destino (como proyecto) se puede vivir el futuro del presente y del pasado con compromiso ético y pensamiento crítico.

El 68 en mi vida (05 de mayo de 2018)

Hace 50 años.

Empecé a dar clases en la Escuela en septiembre del 67. Ya en el 68, comenzamos los seminarios en el CCUM.

Viajamos a América en marzo, pasando por New York, San Francisco y México D.F. En San Francisco nos mezclamos con los hippies en el *Golden Gate Park*. En México se preparaban las Olimpiadas y nos reunimos con refugiados españoles (E. Vilches...).

En mayo estuve en París con Arturo en plena revolución.

Ya en España tuvimos noticias de Praga y de Tlatelolco (en octubre).

Todo anunciaba un renacer, un rejuvenecer, por fin una toma de conciencia liberadora que a todos nos estimulaba.

«La imaginación, al poder».

La democratización del hacer ciudad... la disolución del arte en la vida. Romper las barreras (todas las barreras), iniciar una época de cooperación radical, de intercambio total... Había que abrirse a todo lo que prometía progreso.

Había que vivir la utopía presentista del «hacer» con otros... de conocer lo que hacían y decían los otros.

España era un lugar agitado, inquieto, con constantes episodios trágicos de intolerancia. ETA empezó a matar a torturadores franquistas y en la universidad vivíamos la pasión de la libertad, por un cambio que debía transformar el autoritarismo de los profesores tradicionales por una orientación en el aprendizaje iniciada por las inquietudes de los alumnos.

Se debía y se podía refundar todo, todas las materias, sus modos de ejercitación, los vocabularios, los modos de evaluación, las formas de conexión, la interdisciplinaridad y, sobre todo, la democratización de las tareas productivas que afectaban a todos. En este contexto la arquitectura era vista como una capacidad organizadora que podía ser reclamada por cualquiera, con tal que conociera la capacidad constructiva de la industria y fuera capaz de ajustar sus aspiraciones convivenciales a su compromiso cooperativo, en un tejido social constantemente reajustado.

Recordando el *Computer Art* (13 de marzo de 2007)

Empezamos en el 1968. Nos atraía el situacionismo pero estábamos fascinados por la estructura algorítmica que activaba los ordenadores. Nos intere-

saban los procedimientos que podían producir configuraciones improbables, después de haber aceptado que la figuración gráfica se podía entender como el juego de un conjunto de restricciones sobre un sistema formador estrictamente definido. Cuadros como supresiones, como alteraciones de una ley general.

Unos explorábamos este ámbito mientras nuestros compañeros degradaban imágenes previas (como los trabajos de Searle) o trazaban figuras con ordenes diversas (Iturralde) o inventaban funciones transformativas que detenían aleatoriamente (*Serendipity*).

El empleo del ordenador reforzaba el sentido formativo de nuestro trabajo y nos hacia entender que todo el arte gráfico-plástico era un proceder, mejor o peor reglado, de llenado de una urdimbre que luego se borraba en parte. Siguiendo pautas precisas o impulsos imprevistos. Nosotros perseguíamos los dos momentos activos en un mismo proceso formativo.

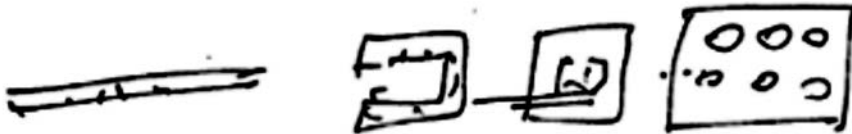
Un germen, una ley, una urdimbre que se densifica hasta el negro. Una trama que se rellena con unidades que, al crecer, se deforman hasta que todo el plano se densifica. Y en medio de este proceso, una intervención que vacía parte de la trama (aleatoriamente o con alguna forma geométrica) y detiene el proceso de crecimiento de las unidades. Este modo de operar (*formative art*) resultaba vinculado con las propuestas de desocupación activa del espacio (Oteiza, 1957) y con el entendimiento de la obra como un despliegue evolutivo de figuralidad (Formatividad de Pareyson, 1960).

Mirando hacia atrás desde ahora, aquella aventura que tuvimos entre los años 68 y 74 quizás no nos llevó a ningún desvelamiento espectacular pero nos enseñó que el artista trabajando se enfrasca en un proceso sólo planeado en parte que le conduce a un ámbito de tanteos infinitos de poner y suprimir, de ordenar y alterar, que sólo se culmina con el abandono de la obra para recomenzar una nueva experiencia que aproxima a lo incausado, a lo arbitrario, a la vacuidad abierta a cualquier acción.

Mi última obra titulada *Ininterrumpido dibujar* consta de 60000 dibujos hechos sin planear, al acecho de los movimientos que el propio cuerpo articula según su estado cambiante. El conjunto de este trabajo es un universo de formaciones, un cosmos de entidades figuradas que hoy me presionan como fuerzas que marcan mi destino de artista marginal.

Indagando en el proyectar edificios (05 de julio de 2015)

1. Los estudios de gramáticas generativas de habitaciones sólo resolvían los ámbitos mínimos.
2. Los locales que la gente demanda, o que el *marketing* determina, no son en general los mínimos sino los «dobles» (clones) de las estancias ritualizadas por las distintas clases sociales.
3. El diagrama organizador general para la vivienda es el que ilustra el *Neufert*⁶⁵.
4. Las habitaciones son dispositivos donde pueden transcurrir relatos de ocios o de acciones ritualizados (y no problematizadas).
5. Todos quieren vivir como viven otros.
6. El diseñador cuenta con modelos geométricos de estancias relativamente abiertas, ajustables a circunstancias peculiares (lugar de las ventanas, almacenes...) totalmente ritualizados.
7. El estudiante necesita vincular narraciones a las estancias tratables, con la violencia de caricaturas ideológicas.
8. Los edificios están categorizados y catalogados según las culturas y la economía de los usuarios.
9. Estas advertencias hacen que el ejercicio del grafos y sus duales se quede en una elucubración académica.
10. El gran ejercicio diseñante es encajar un compuesto de locales en un contenedor con condiciones de borde.
11. Se hace inminente pensar en los tejidos habitaculares disponibles... y en los casos límites de organización de unidades edificables.
12. Todo edificio habitable es un tejido de vías de comunicación y recintos adosados a ellas y contiguos entre sí, algunos necesariamente vinculables con el exterior, más o menos próximos al acceso.
13. Esta cinta continua tiene muchas posibilidades de desarrollarse.



(ver y desarrollar organización)

⁶⁵ Nota del editor: Ernst Neufert autor de *Arte de proyectar en arquitectura*.

14. Lógica desde dentro y desde fuera.
15. Las formas de vida tienen que ver con los almacenes de enseres-ropa-útiles-alimentos-ocio-aburrimiento... exhibición..., referencias de clase y mantenimiento..., zonas de ambigüedad y anticipación de cambios organizativos.
16. El gran descubrimiento «analogizante», «estructurante» es que cualquier dibujo plano puede vivirse como una planta o sección de un edificio (Realismo intelectual).
Esta propiedad inhabilita el razonamiento tipológico aunque no colisiona con el razonamiento activo comportamental.

¿Qué tengo yo de maquínico? (15/06/2017)

Es una epifanía...después de pensar en la experiencia en el CCUM y mi posterior trabajo en el *Ininterrumpido dibujar*.

Me interesaba la cibernética porque me obligaba a intentar algoritmizar lo que era capaz de hacer... como diseñador de edificios.

Este trabajo me llevó a descubrir que los edificios, en general, son «ingramaticales» y que los principios funcionales sólo son operativos en entornos restringidos moral y topológicamente.

Pero también me persuadió para que yo internalizara la acción maquínica de la informática hasta poder actuar automáticamente.

Hoy me doy cuenta que mi trabajo se asienta en esta analogía inversa que me ha llevado a la búsqueda de la insignificación.

Nuestro trabajo en el CCUM (06/03/2018)

1. La edificación no estaba sistematizada aunque sabíamos que los edificios eran cáscaras morales para la convivencia, arrastradas de la tradición.
2. Tampoco había ninguna teorización acerca del proyectar edificios (diseñar), aunque había trabajos que intentaban situarse frente a la cuestión (Chermaiev, «Comunidad y privacidad» y Alexander «Notas para la síntesis de la forma»).
- El proyectar lo producían «cajas negras» indescriptibles.
3. Este estadio de cosas nos animaba a acometer una exploración profunda que sentara unas bases lógicas para el proyectar edificios y alcanzara los fundamentos operativos (imaginarios) en los que se practicaba el diseño.

4. La informática nos ofrecía su potencial algorítmico diagramal para ensayar analogías operativas, y las teorías sistémicas nos estimulaban a configurar dispositivos interconectivos donde ajustar los ámbitos antropológicos, sociales y constructivos, al proyectar edificios.
5. Los lenguajes formales neopositivistas, las visiones estructuralistas de las sociedades y las gramáticas generativas, se nos ofrecían como referentes operativos fascinantes, si éramos capaces de conducir el diseñar (proyectar) a sus presupuestos operativos.
6. Las teorías acerca de la invención y la creatividad nos animaban a tomarlas en consideración para la búsqueda de novedad... sobre todo en el aprendizaje escolar.
7. Ningún arquitecto explicaba operativamente cómo procedía, aunque quizás todos justificaban sus propuestas, una vez formalizadas, en razón a ciertos compromisos históricos y a peculiares filiaciones posturales (ideológicas) frente a la simbología edificatoria y a la convivencia social.
8. Si queríamos profundizar, esto es, alcanzar los principios de nuestro oficio, no podíamos desperdiciar las experiencias y esfuerzos que se hacían en los diversos campos operativos en auge.
9. Pasamos mucho tiempo observando el modo de proceder de alumnos y profesionales jóvenes, estudiando sus formas de descomponer las situaciones de partida, sus maneras de usar el grafismo en cada caso, y los medios de tantear síntesis dibujadas, completando estas operaciones con verbalizaciones justificativas diversas.
10. En un momento dado, decidimos iniciar nuestro estudio empezando por considerar el comportamiento humano (operativo, recuperativo y colaborativo) como la base de nuestro futuros desarrollos. Las teorías de la acción, la praxiología y la ergonomía nos conducían al análisis de las actividades humanas considerándolas como el alfabeto básico del proyectar edificios. Alfabeto capaz de producir agrupaciones «funcionales», claramente grafiabiles y sistemáticamente componibles en habitáculos morales (afines y métricos) capaces, a su vez, de agruparse en unidades mayores (edificios tipologizados).
11. Estas unidades sintácticas debían de poderse combinar (componer) en el interior de urdimbres constructivas claras, a través de esquemas topológicos peculiares (organigramas) que eran los responsables de garantizar o modificar las diversas distribuciones según sentidos determinado o experimentales.

12. Este planteamiento parecía escueto y razonable... y permitía ser aplicado a proyectos históricos, aunque en los edificios reales las agrupaciones funcionales nunca se ajustaban a los mínimos dimensionales marcados por la ergonomía.
Esta peculiaridad alteraba la pretensión de encontrar una gramática generativa generalizable, aunque las «unidades funcionales estrictas» eran una condición límite necesaria para la factibilidad de los proyectos.
13. Empezamos entonces a sospechar que la funcionalidad era un presupuesto impreciso para proyectar edificios, porque tal como sabíamos por la rehabilitación, «en un edificio se puede programar todo lo que sus locales sean capaces de contener» al margen de la razón funcional que los generó.
14. Otra cosa que notificamos: frente a edificios definidos (construidos o sólo proyectados) siempre era posible describirlos como resultado sintáctico de una gramática generada a partir de sus componentes.
15. Con unidades funcionales estandarizadas se podría operar acomodando sus dimensiones (movimentales) en cualquier esquema organizador capaz de satisfacer las conexiones indispensables entre ellas, determinadas de antemano.
Esta peculiaridad forzaba a entender el proceder proyectual como interacción sintética de organizaciones límites, obtenidas de la consideración separada de las atenciones intervinientes en la edificación: (programa-narración, ubicación en el medio, determinaciones externas de conformidad, simbolismo del edificio resultante y sistemas constructivos a disposición).
16. Otro gran descubrimiento destabilizador fue la advertencia de que cualquier programa era resoluble en cualquier dibujo (sin escala) que presentara oquedades interconectadas. A esos grafismos los llamamos dibujos habitables porque permitían jugar a acomodar unidades funcionales precisamente programadas en configuraciones inesperadas con tal de ajustar la escala y limpiar trazos insignificantes.
17. Las unidades funcionales (mínimas) determinadas ergonómicamente resultaban indispensables, pero las técnicas operativas para agruparlas en diseños de edificios se multiplicaban e indeterminaban. Esta constatación dejaba la investigación metodológica en boga sin operatividad y reclamaba una revisión en profundidad

de las técnicas operativas disponibles y de su trabazón organizativo-tentativo para llegar a planificar modos de hacer eficientes en distintos grados.

18. El trabajo profesional, en el 68, se justificaba en las «necesidades» básicas, recogidas en «ordenanzas» de obligado cumplimiento y el derecho al habitar, con tres clientes bien diferenciados: el Estado, las grandes empresas y las clases medias.

En estas circunstancias, el trabajo profesional, amparado por normativas competenciales, se producía dentro de parámetros tipológicos limitantes y limitados que animaban a pensar en una alcanzable algortimización de las operaciones proyectuales.

19. Sin embargo en la universidad se vivía la enseñanza del proyectar como un aprendizaje abierto frente a la configuración del medio ambiente artificial que exploraba toda clase de planteamiento y técnicas operativas, al margen (o en contra) de las restricciones edificatorias contenidas en las normativas oficiales.

En España la confrontación entre la denuncia de Coderch «No son genios lo que necesitamos» (1961) y las aseveraciones de J.L. Sert, en sendas conferencias en las que defendía que en las escuelas de arquitectura había que evitar imitar lo que hacían los profesionales en la calle, para fundar la competencia profesional, no en la genialidad, sino en el desvelamiento de la naturaleza operativa ficcional (y utópica) del aventurar edificios sorprendentes.

Esta propuesta aniquilaba la ingenua propuesta de una gramática generativa abierta y general (metodológica) en favor de un estudio en profundidad de los fundamentos organizativos-significativos de la edificación y sus posibilidades innovadoras.

Aunque se reconocía la potencia resolutive de las gramáticas generativas para promover herramientas de autodiseño apoyadas en sistemas ambientales/constructivos cerrados, posibles en tejidos urbanos preparados para absorber una variedad de soluciones posibles.

20. Estas peculiaridades forzaron a diferenciar los modos de proceder profesionales que podían llegar a concretarse en estrategias operativo-aparenciales reconocibles y controlables (marketing), de los modos de proceder en el aprendizaje académico volcado, estrictamente a basamentar técnicas operativas radicalizables como fundamento de cualquier proyectar, dejando para las especulaciones la ejercitación en técnicas a disposición... como ayudas al diseño.

21. En los años 70 con la crisis del petróleo, las investigaciones en los fundamentos algoritmizables de los edificios se paraliza y, en paralelo, aparecen mediaciones abiertas (C.A.D. y C.A.M.) cada vez más sofisticadas.

En paralelo hay una creciente atención a las técnicas operativas en el proyectar edificios (J.C. Argan, Grassi, Gregotti, Boudon) que empezaron a señalar el proceder en el diseñar como *poiesis* categorizable... que, utilizando la mediación configural de los programas que se comercializan, acaban desembocando en la llamada postproducción... que es una técnica operativo significativa que permite yuxtaponer configuraciones diversas... en esquemas estructurales peculiares.

Este bucle reflexivo remite la preocupación de estudiosos y profesores al principio... a los fundamentos del configurar edificios a través de las prácticas ejercitativas propuestas en los centros de enseñanza, en medio de unas atmósferas imaginarias enmarcadas en las distintas latitudes por mitos y convicciones todavía sin analizar ni sistematizar.

Cómo llegamos y nos integramos en el CCUM (1ª tentativa) (03/04/2018)

Yo llegué al CCUM por mediación de alguien de IBM, después de asistir a un cursillo sobre lenguaje de máquina (*Asssembler*) llevado por mi curiosidad, tras haber terminado la carrera de arquitecto, haber obtenido una diplomatura en psicología por la Universidad de Madrid, haber puesto en marcha un estudio profesional (con M. de las Casas y S. López Hernández) y haber empezado a dar clases de «Proyecto» en la E.T.S.A.M.

En el imaginario gremial estaba claro que la edificación debía de responder a las «necesidades humanas» albergables en habitáculos, relacionados entre sí como componentes de una configuración construible.

Al diagrama relacional se le denominaba «organigrama». También nos interesaba la «coordinación modular», en la base del dimensionado de los elementos implicados en la construcción y asistíamos a la aparición en el horizonte de las llamadas «metodologías» que eran, el resultado del esfuerzo por desactivar la caja negra procesativa en que se ocultaban los procedimientos operativos del proyectar edificios.

No había referencias teóricas al respecto, pero asistíamos a una cierta proliferación de propuestas edificatorias que se presentaban como ensayos de cambios aparienciales vinculados a modos operativos peculiares, nunca bien explicados por sus autores.

Además, como enseñantes de proyectos, nos interesaba profundizar en los fundamentos del oficio, en el proyectar edificatorio, que siempre arrancaba replicando proyectos (o edificios) señalados ideológicamente como modélicos y, a veces, a la vista de los nuevos edificios publicitados, ensayando propuestas experimentales sólo sostenidas por su inesperada apariencia o por la insólita convivencia a la que se destinaban, dejando de lado ordenanzas y dificultades constructivas.

Esta peculiaridad formativa había provocado una acalorada discusión académica, que llevó a J. A. Coderch a protestar por esas prácticas fantásticas recomendando no salirse de lo profesional, y a J.L. Sert a defender que la tarea de las escuelas no era otra que la de enseñar a fantasear (¿a derivar?)... como aprendizaje creativo ya que, luego, la realidad acaba obligando al profesional a ajustarse a los patrones impuestos por el capital y la capacidad industrial.

Teníamos que afrontar sin discusión las técnicas del proyectar edificios apuntando directamente a sus fundamentos organizantes... colectivos, performativos, más antropológicos que historiográficos.

Teníamos la convicción de que para proyectar la «edificación-mercancía» que se producía, no hacían falta escuelas de Arquitectura.

El CCUM, en esta tesitura vocacional, nos ofrecía un ámbito en el que verbalizar nuestras inquietudes y conocer los esfuerzos sistémicos de las teorías que sostenían la operatividad maquina general: Claude E. Shannon «Teoría de la información» (1948), Norbert Wiener «Cibernetics: Or control and communication in the Animal and the Machine», MIT Press 1948, Karl Ludwig von Bertalanffy «Sistems theory» (1940), W. Ross Ashby «An introduction to ciberantics» (1956) y familiarizarnos con otros especialistas respecto al estudio de los fundamentos de sus disciplinas.

El CCUM era un peculiar lugar... un edificio recién construido con un enorme ordenador, idóneo para reunirse y trabajar y, sobre todo, con un equipo directivo abierto a las iniciativas e inquietudes vinculadas a la naciente informática.

Los anfitriones eran: el director (Florentino Briones), hombre acogedor, abierto a todas las iniciativas que allí confluían; el subdirector (Ernesto García Camarero), animador de los distintos seminarios que se ponían en marcha y conocedor de la historia de la ciencia española; el «animador», propuesto por IBM (Mario Fernández Barberá), aficionado al arte, introductor de invitados y mediador con otros grupos; y las secretarias, personas volcadas a la atención de todos los que por allí brujuleábamos.

Yo llegué con la intención de vincular el proyectar edificatorio (¿la arquitectura?) con la algoritmación y la sistematización de las prácticas al uso... a partir del análisis de los procederes profesionales y académicos. Llegué acompañado por colegas (M. Casas, C. Sevilla, Prieto, J.M. de la Prada) y alumnos (G.Searle, M.V. G. Guitián) y enseguida fundamos el S.A.G.F.A (Seminario de Análisis y Generación de Formas Arquitectónicas).

Y en paralelo a mi iniciativa, supe que había otras que me resultaron estimulantes. Por un lado estaba el intento de formación de un seminario para la generación de «formas musicales» a partir del grupo *Alea* y otros compositores en ejercicio (Luis de Pablo, Tomás Marcos...). Por otro estaban los pintores *Post Op Art* y modulares, descubiertos por los residentes del CCUM como productores de obras «computables» (Barbadillo... Yturralde, Sempe-re, Abel)... los inquietos buscadores de nuevos modos de operar (*Equipo 57*) y los animosos buscadores de enfoques y ajustes algorítmicos con los que producir o con los que enmarcar sus abiertas inquietudes (Alexanco, G. Perales, T. García Asensio...).

Todavía, por otro lado, aparecieron los lingüistas (V. Pérez de Zabala, Carlos Piera, Violeta de Monte, Gómez de Liaño) interesados en las gramáticas generativas, en la poesía concreta... y ocupados en el estudio de la lingüística general y la semiología.

Y los lógicos matemáticos (Prida,...) ocupados en temas de computación, de recursividad y maquinidad...etc.

A parte sé que había otras actividades respecto al uso de la informática en diversos campos.

Algunos de nosotros estábamos interesados en las temáticas de varios seminarios y asistíamos asiduamente a sus sesiones (si no recuerdo mal, éramos: Ignacio Gómez de Liaño, M.V. G. Guitián, G. Searle, C. Sevilla, J.M. de la Prada... yo mismo)

Y, al tiempo, en nuestro seminario, se iban incorporando muchos participantes (Jorge Sarquis, Roberto Cruz, el grupo *Sistemas Artificiales*, Jesús Peraita...).

En paralelo, en la Escuela, enseñando a proyectar, se nos ocurrió proponer ejercicios colectivos presentándonos en conjunto a los concursos de universidades que se convocaban.

Esta actividad obligaba a trabajar como lo hacíamos en los estudios particulares y nos permitía ensayar en vivo los principios antropológicos y procesativos que perseguíamos en el Seminario...

Queríamos descubrir objetivamente técnicas operativas eficaces en el proyectar, fundadas en el estudio de las actividades / comportamientos a recoger en los edificios.

Con estas inquietudes, los distintos seminarios del CCUM nos ayudaban a descomponer las atenciones de nuestro trabajo, nos mostraban campos operativos afines a los nuestros y nos aportaban puntos de vista y de oportunidad aplicables en nuestro campo.

El Seminario de Generación de Formas Plásticas nos permitió explorar el ámbito geométrico configural de una manera total (A. Moles...) y nos introdujo en los trazados radicales: lo biológico, lo cósmico, lo constructivo configural.

El Seminario de Lingüística nos introdujo en el ámbito de las gramáticas generativas y nos forzó a intentar encontrar analogías con el configurar ámbitos para la vida a partir de elementos ergonómicos. Este esfuerzo nos sirvió para desvelar dos limitaciones características de la edificación.

Sólo se podrán estructurar sintaxis claras en casos cerrados. Sin embargo, enfrentados a la edificación genérica, era imposible encontrar una gramática operativa acotable.

El seminario de lógica nos mostraba la diferencia entre lenguajes formales cerrados y aproximaciones a la computabilidad, marcando claramente las condiciones limitantes de nuestras inquietudes.

La asistencia a todos estos seminarios provocó en nosotros una gran inquietud sistémica... que nos llevaba a leer los documentos fundantes de cada sección, a asistir a sus eventos singulares y a intentar analogizar sus fundamentos, estimulando un gran esfuerzo fenomenológico y «maquínico» en la pormenorización de los campos operativos-significantes en que éramos capaces de descomponer las atenciones edificatorias en el trance de proyectar edificios.

Además el CCUM invitaba a personajes destacados en cada grupo de trabajo, promocionaba visitas a centros, asistencia a los congresos internacionales que se producían y, él mismo, organizaba reuniones abiertas de diversa naturaleza...

Las más importantes para nosotros fueron: la relación con el IRIA de París, las reuniones en IBM, los congresos de Mánchester... y aquí, invitación a N. Negropone del MIT y el simposio de Abril de 1971 en el que intervinieron, entre otros, Bradbent, A. Ward, M. Echenique, C. Jones, P. Purcell, B. Auger y E. Ambaz.

CCUM. ¡De repente! (22/04/2018)

De repente... se hace presente el sentido de nuestra búsqueda en el CCUM.

- 1° Lo importante es la edificación como fenómeno antropológico convivencial básico (El medio ambiente artificial).
- 2° La palabra arquitectura enturbia el campo de atención frente a lo edificado y lo edificable.
- 3° La edificación es el resultado de la construcción.
La construcción es una compleja técnica donde confluyen especialistas diversos, produciendo coordinados, artefactos prefigurados.
- 4° Los edificios son cáscaras materiales donde alojar actividades humanas ritualizadas moralmente.
- 5° Los edificios se agrupan (y distribuyen) en tejidos colectivos (urbanos) que son urdimbres que esperan construcciones tipificadas.
- 6° Cada tipo de edificio está destinado a específicas actividades y, de manera imperativa según las épocas y los lugares (las culturas), nace sujeto a condiciones figurales (de organización y vinculación) normalizadas.
- 7° Los edificios asumen la representatividad (la imagen de marca) de sus promotores, señalando la singularidad o diferencia de sus usuarios.
Este factor (simbólico) obliga a familiarizar los edificios, en la profundidad de la historia, con otros ya prestigiados.
- 8° Pero los edificios, que duran más que las generaciones y, a veces, que las culturas, con el tiempo han de albergar actividades para las que no fueron fabricados.
Esta circunstancia hace ver que los edificios son capaces de contener cualquier actividad que pueda acomodarse en sus estancias.
- 9° Y esta constatación... conduce a reconocer que cualquier ámbito estancial puede ser utilizado de diversos modos, alejados de su destino primario (M. de Certeau señala la diferencia entre la lógica del diseñador y la del usuario, que siempre es ocasional y, a veces, inesperada).
- 10° Los edificios simbólicos singulares (edificios memoriables espectaculares) suelen responder a alardes técnicos aparienciales... difícilmente anticipables (los concursos tratan de encontrar apariencias/*marketizables*... diversas).

- 11° Pero los edificios de habitación (viviendas) suelen acomodarse, por ley, a tipologías muy concretas marcadas por la salubridad, la moralidad oficial, la distribución del trabajo la complementariedad de sus usos con los servicios que la sociedad dispone y la incardinación en el tejido urbano del que formarán parte.
- 12° Estos edificios parecen abocados a ser tratados como variaciones limitadas de una gramática generativa, estricta en su sintaxis organizativa, pero elástica en el dimensionado de sus elementos habitaculares.
- 13° En principio no parecía descabellado encontrar una algoritmización que permitiera generar viviendas a partir de los habitáculos (morales) prescritos en las normativas oficiales, ajustadas a condiciones de borde claras y sistemas constructivos asequibles.
Este era un objeto metodológico claro y, al parecer, asequible.
- 14° Pero cuando se enfocaba la edificación «espectacular» resultaba imposible esta orientación generativa.
En estos casos, sin embargo, a partir del edificio determinado (realizado o en proyecto) era posible describirlo como resultado de una «gramática» que el propio edificio enunciaba y exhibía. Esta constatación lleva a concluir que no hay una «gramática» general para edificios de distinta naturaleza, pero que todo edificio es una organización sintáctica de elementos gramaticales peculiares (habitaculares y constructivos).
La demostración fue (en el CCUM) la *Gramática generativa de Patios Platerescos* (de Gómez de Liaño y Searle).
- 15° Los arquitectos, mediadores entre la administración, la propiedad (los promotores– mercantilizadores), y la industria, tenían la posibilidad de desaparecer como artífices de viviendas sociales si eran capaces de desarrollar herramientas de Inteligencia Artificial aptas para cumplir las normas y permitir a los usuarios pormenorizar sus moradas... según los grados de libertad posibles en cada caso.
Visto así, sólo quedarían arquitectos disponibles para edificios representativos si esos profesionales, como siempre ha ocurrido, eran capaces de proponer ámbitos y aspectos producibles por la industria suficientemente asombrosos como para poder utilizar el edificio como símbolo memorable del poder.
Para este tipo de profesional la Inteligencia Artificial no era productiva... y se necesitaba otro tipo de encuadre profesional y de aprendizaje.

16° Las Escuelas de Arquitectura acogían a enormes cantidades de alumnos que acudían a ellas, quizás más por interés psicoemocional frente a los edificios que por las ofertas de trabajo profesional o por la significación socio política de la construcción; alumnos que esperaban ser conducidos hacia el éxito profesional por encima de las condiciones empresariales y sistémicas ofrecidas por las sociedades.

¿Enseñar a qué?. ¿Cómo?

Para aprender a hacer viviendas sociales no hacía falta una escuela especial. Sólo se necesitaba enseñar puzzles en el interior de lugares prefijados; para hacer viviendas para ricos había que estudiar ejemplos históricos de derroche espacial... y saber zonificar los usos.

Las escuelas sólo justificaban su existencia si ayudaban a diseñar edificios raros, edificios extrañantes, asombrosos, y esta enseñanza no era (ni es) metodizable... aunque pueden ser heurísticamente acometible con tal de descomponer el trabajo en ámbitos de atención diferenciables, tratándolos por separado..., explorando en cada uno de ellos sus configuraciones conjeturables más extremas y procediendo, luego, a una fusión sintética de sus características organizativas figurales.

Este enfoque ha dado lugar a la elaboración sucesiva de una teoría introductoria al proyectar arquitectónico (Escritos...) y a una sistemática esquizo-operativa capaz de producir proyectos sorprendentes.

El trabajo en el CCUM sirvió para enfocar el estudio de la creación edificatoria por vías peculiares, semejantes a las surgidas en otras disciplinas (ver Simondon) y para enmarcar en lógicas algoritmizables el trabajo de diseñar viviendas populares en tejidos urbanos tipificados.

A día de hoy, el enfoque creativo / propositivo frente a la edificación... sigue perdido en las ideologías (imaginarios) corporativas y el enfoque sistémico de lo sistematizable sigue oculto mientras prolifera la postproducción, que es el manejo digital de imágenes gráficas diversas que se pueden descomponer, unir... superponer, etc. en ejercicios no sistematizables de búsqueda de configuraciones sorprendentes.

Este enfoque «creático» se basa en una observación ya antigua pero aún hoy atrayente... a saber: todo grafismo plano y todo objeto, natural o artificial con oquedades, puede ser entendido desde el realismo intelectual, como un esbozo, modelo o configuración habitable, con tal de manejarlo ajustando su

tamaño a la escala conveniente para tratarlo como un simulacro de edificio construible...

A los dibujos (planos, no representativos) capaces de ser significados como plantas construibles albergues de actividad los llamamos dibujos habitables.

A los objetos (o cosas) capaces de ser significados como volúmenes envolventes de actividad los llamamos... configuraciones habitables.

7.4. «De cómo llegaron al Centro de Cálculo algunas de las principales ideas estético-culturales». Ignacio Gómez de Liaño

En las siguientes líneas voy a contar, de forma breve y sintética, y desde mi particular perspectiva (y por tanto de forma inevitablemente parcial), cómo llegaron al Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid (CCUM), entre los años 1968 y 1973, algunas de las principales ideas estético-culturales que tanto juego dieron en los seminarios que en él tuvieron lugar.

Empecemos por las artes plásticas. En ese campo, desde los años 1964-1965 aproximadamente, algunos artistas, como Manuel Barbadillo, Julio Plaza, Elena Asins, Lugan, Julián Gil, y, poco después, Gerardo Delgado, Enrique Salamanca, Tomás García Asensio y otros artistas no menos relevantes que participaron en el seminario de Generación Automática de Formas Plásticas del CCUM, decidieron seguir la ruta del geometrismo constructivista o arte concreto, que habían iniciado algunos años antes Jorge Oteiza, Pablo Palazuelo y Eusebio Sempere, frente a la «vanguardia» de tipo expresionista abstracto, que predominaba desde los años 50 y que representaban en Madrid los artistas de *El Paso*. Los artistas de la tendencia geométrica constructivista, así como José Luis Alexanco, interesado sobre todo en la representación de figuras en movimiento, vieron que, con el uso de la computadora, se les abría un importante campo de experimentación, ya que el componente geométrico-matemático era esencial en su operar artístico. De ahí que algunos de los más relevantes artistas de esa modalidad entrasen a formar parte del mencionado seminario.

A mí mismo, que coordiné ese seminario en el curso 1969-1970, me permitió realizar una investigación que, años después, tendría gran trascendencia mediático-social, cuando me serví del *Apostolado* de El Greco a fin de neutralizar, de forma matemático-geoméricamente regulada, la información plástica contenida en la retícula cartesiana que alojaba cada una de las figuras de los Apóstoles. Tras pasar las cinco fases de neutralización,

los Apóstoles venían a transformarse en cuadros de tipo geométrico. En el proceso de neutralización se podía asimismo descubrir en qué momento los Apóstoles dejaban de ser reconocibles. Esas composiciones se expusieron en los *Encuentros de Pamplona* de finales de junio de 1972 y, en marzo de 1973, el Boletín del Centro de Cálculo publicó el estudio teórico que dio lugar a esa investigación con el título de «Pintura y Perceptrónica. Estudio de transformaciones en pintura» (Boletín CCUM, 22, marzo 1973, 73-93). Lo que hice, con la ayuda de Guillermo Searle Hernández, con quien firmé ese escrito, fue inventar lo que, años después, se llamaría «pixelización», procedimiento usado por los medios de comunicación cuando quieren que una fisonomía no sea reconocible.

Tampoco es casual que algunos de esos artistas plásticos hubiesen recibido desde el año 1966 la influencia de la poesía experimental, empezando por la concreta, encabezada por el Equipo Noigandres del Brasil y el suizo-boliviano Eugen Gomringer, secretario entonces de Max Bill (director de la *Hochschule für Gestaltung* – Escuela de Diseño de Ulm). Yo me había iniciado en esa poesía en el otoño de 1964, de la mano del poeta argentino-uruguayo Julio Campal, di varias conferencias sobre esa temática desde 1965, y, en buena medida, me encargué de organizar la gran exposición de poesía experimental (visual, concreta, semiótica, de acción) que presentó la galería Juana Mordó (de la calle Villanueva de Madrid) en la primavera de 1966, y que después (a comienzos del verano) fue a la galería Barandiarán de San Sebastián, que a la sazón regentaba Julio Campal.

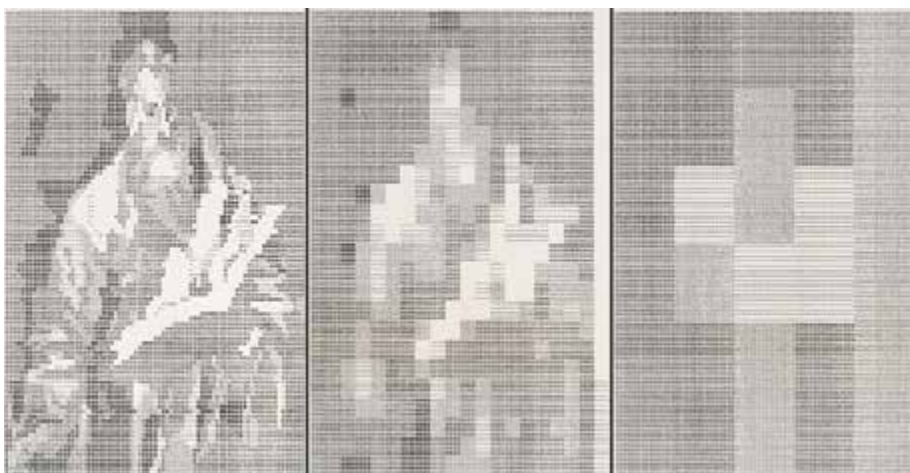


Figura 48. Apostolario de Ignacio Gómez de Liaño y Guillermo Searle.

La comprobación de que la experimentación geométrica y combinatoria había penetrado en el campo de la poesía disponía ciertamente los ánimos a embarcarse en la aventura computacional. A lo que también contribuía el hecho de que la mencionada exposición de poesía experimental tuviera lugar en una galería –la de Juana Mordó–, que era la avanzada del arte de tipo expresionista abstracto, representado por Millares, Saura y otros artistas de *El Paso*.

Mi encuentro en el mes de julio en Francia con Julio Plaza, Elena Asins y Lugan abrió a estos artistas el camino hacia esa experimentación poética⁶⁶. Otro tanto ocurrió con artistas que eran amigos míos desde los tiempos del Instituto Cardenal Cisneros (hacia el año 1962) como Manolo Quejido y Herminio Molero, los cuales empezaron a interesarse, desde 1966 o 1967, en el arte geométrico y la poesía visual, que acabarían practicando con gran originalidad. También ellos, como los artistas antes mencionados, acudieron al CCUM desde el inicio de sus actividades estético-culturales.

Otro factor que hizo que estos artistas se interesasen en los buenos oficios que podía prestarles la computadora del CCUM fue la inauguración, en agosto de 1968, en el *The Institute of Contemporary Arts* (ICA) de Londres, de la gran exposición *Cybernetic Serendipity*, sobre arte y computadora. Yo tuve la suerte de asistir a la inauguración (creo haber sido el único español que allí estaba) y de conocer personalmente al filósofo y poeta concreto de Stuttgart Max Bense, que había llevado a la Estética la teoría matemática de la información y que estuvo presente en la inauguración. Con él yo tenía relación epistolar desde finales de 1964 y su obra figuraba en la mencionada exposición de la galería Juana Mordó. Como he recordado varias veces, el catálogo de la exposición *Cybernetic Serendipity* lo dejé en la sede del CCUM, cuando, a mi vuelta de Inglaterra en abril de 1969, me incorporé a sus actividades.

Sobre Max Bense debo añadir que la Cooperativa de Producción Artística y Artesana (CPAA), que fundé con varios amigos artistas a finales de 1966, le invitó a dar conferencias en el Instituto Alemán de Madrid en 1969 y que mi tesis de licenciatura de Filosofía y Letras, carrera que terminé en el curso 1968-1969, versaba sobre las aplicaciones de la Teoría Matemática de la Información a la Obra de Arte. Otro de los autores que estudié con vistas a esa tesis fue Abraham Moles, al cual invitó a dar una conferencia el CCUM el 12 de enero de 1970 con el título «Definición Heurística de la Imagen Cinematográfica».

⁶⁶ Figura 39.

El poliedro cultural del CCUM tiene un importante lado, de coloración lingüística, que también influirá en investigaciones relativas a la arquitectura. El coordinador de ese seminario era el lingüista Víctor Sánchez de Zabala, que contaba como eficientes colaboradores a Violeta Demonte y a Carlos Piera. Ese seminario tenía para mí especial interés, pues desde joven, como alumno que fui, en el Instituto y en la Universidad, del profesor Francisco Rodríguez Adrados, había trabajado intensamente en el campo de la lingüística estructural. Cuando me trasladé de Londres a Cambridge a finales del otoño de 1968 entré en relación con el Departamento de Lingüística de esa Universidad a través de los lingüistas Pieter A. M. Seuren (holandés) y Nora Galli de Paratesi (italiana), con los que hice gran amistad. Como Seuren era el principal representante que había entonces en Cambridge, y probablemente en toda Gran Bretaña, de las gramáticas generativo-transformacionales, en seguida me inicié en ese campo y tuve la oportunidad de escuchar la conferencia que dio Noam Chomsky, a comienzos de 1969, en el edificio, arquitectónicamente muy innovador y recién terminado (obra de James Stirling), que albergaba la Facultad de Historia. El profesor John Trim, director del Departamento de Lingüística, se encargó de presentar al lingüista americano, que creo que era la primera vez que venía a Europa. Como en esas fechas había un importante debate entre los «semantistas» y los «sintactistas», capitaneados estos últimos por el propio Chomsky, el profesor Trim puso de relieve esa cuestión en sus palabras de presentación. En el coloquio informal que tuvo lugar después de la conferencia, yo (que solo tenía 22 años) abordé a Chomsky para decirle que el precedente más notable de su teoría generativo-transformacional estaba en la obra de un gran lingüista español (extremeño por más señas) que fue profesor en la Universidad de Salamanca en la segunda mitad del siglo XVI, Francisco Sánchez de las Brozas (El Brocense). Esa obra, de la que mi abuelo (Ildefonso Alamillo Salgado), extremeño como El Brocense, me había regalado un magnífico ejemplar del siglo XVII, se titula *Minerva, sive de causis linguae latinae*. Obviamente, Chomsky, que no sabía latín, desconocía la *Minerva*, de la que no había traducciones a ninguna lengua moderna.

Debido a esos conocimientos míos de gramática generativa di algunas charlas en el seminario coordinado por Víctor Sánchez de Zabala en el CCUM, y, sobre todo, los apliqué a la arquitectura, concretamente, a la elaboración de una gramática generativo-transformacional de los patios renacentistas españoles llamados platerescos, tarea que pude llevar a cabo con la ayuda de mis alumnos de la Cátedra de Estética y Composición de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM) y, sobre todo, con la de uno

de ellos, que ya se destacaba en el campo de la Informática, el ya mencionado Guillermo Searle Hernández. Fue aquella una labor ingente, de la que resultó la fijación de las reglas gramaticales (con su traducción matemático-informática) mediante las cuales componer no solo los patios platerescos existentes, sino todos los que se podían generar con la aplicación de esas reglas arquitectónico-gramaticales.

Con lo que llegamos a la importante parte que tuvo la arquitectura en las actividades estético-culturales del CCUM. Tras incorporarme en la ETSAM como profesor de Estética y Composición en el curso 1969-1970 –recién terminada la carrera de Filosofía y Letras (me especialicé en Estética) y casi recién regresado de Inglaterra (estuve en Londres y Cambridge entre julio de 1968 y abril de 1969)–, tuve la suerte de conocer allí a grandes estudiosos de la arquitectura, como Javier Seguí de la Riva, José Miguel de Prada Poole y Juan Navarro Baldeweg, que desempeñaron un papel importante en el seminario dedicado a arquitectura del CCUM, como bien lo pusieron en evidencia los trabajos de Navarro Baldeweg sobre «autómatas residenciales» y las investigaciones que llevarían a De Prada a diseñar singulares ciudades futuristas, para no hablar de las no menos importantes de Javier Seguí, que fue el coordinador de ese seminario.

Respecto a las novedosas perspectivas que abría ese seminario del CCUM, se debe destacar la trascendencia que en esos años tuvo el módulo «Hele», que, con forma de L, diseñó Rafael Leoz de la Fuente, innovador arquitecto con el que yo había establecido contacto a finales de 1966 y del que incluí obras en la gran exposición *Rotor – Concordancia de artes* que organicé, en el marco de la CPAA, a finales de 1966 y comienzos de 1967, y de la que se hizo un magnífico catálogo, en el que se pueden ver muchas obras de poesía visual, pintura, arquitectura y diseño.

La España de 1968 o, más concretamente, el Madrid de 1968, año en que se iniciaron los seminarios del CCUM, estaba en la vanguardia estética y científica (cosa que se suele pasar por alto) en muchos campos, como eran la lingüística, las artes plásticas, la arquitectura, la poesía y, por supuesto, la música, representada a la sazón por el grupo ALEA de Luis de Pablo y el grupo ZAJ de Juan Hidalgo que, junto con Javier Maderuelo y otros músicos, también tuvieron su seminario en el CCUM. Esa especial relevancia cultural vanguardista es la que explica todo lo que, en esos campos, se hizo en el CCUM, enclave que tenía la gran virtud de facilitar el intercambio de ideas entre poetas, pintores, escultores, arquitectos, lingüistas, matemáticos e informáticos, o sea, entre personas dedicadas

a campos muy variados de la investigación y la creación. A esa virtud se unían otras dos también muy dignas de consideración, una mecánica y otra tectónica: si la mecánica era la novedosa y misteriosa computadora proporcionada por IBM al CCUM, la tectónica la representaba el propio pabellón que la alojaba, luminosa muestra vanguardista de la arquitectura racionalista, obra del manchego Miguel Fisac, uno de los principales arquitectos españoles de la época, y, por eso mismo, lugar ideal para llevar adelante tan innovadores encuentros y diálogos, que hicieron posibles, desde un punto de vista administrativo, la buena disposición y los conocimientos estético-culturales de quienes dirigían entonces el CCUM, o sea, Florentino Briones y Ernesto García Camarero, y el hombre de IBM en el CCUM, Mario Fernández Barberá.

Tampoco conviene olvidar que la España de esos años –la España «del desarrollo»– era el país que más crecía económicamente, no solo en Europa, sino en el mundo, junto con el Japón, como bien lo ponen de manifiesto las estadísticas, y que aunque el régimen político surgido de la guerra civil era una dictadura (oficialmente llamada «democracia orgánica») que presidía el general que había ganado la guerra, no por ello se opuso a las corrientes estéticas y culturales de tipo vanguardista, sino que en buena medida las potenció, gracias a figuras de la Administración del Estado, o próximas a la misma, como Luis González Robles y Carlos Areán, entre otros, que formaron parte del Ministerio de Información y Turismo, regido por Manuel Fraga Iribarne, entre los años 1962 y 1969.

Viajar por Europa no era raro entre los jóvenes intelectualmente curiosos de esos años. Yo mismo viajé no poco desde 1966 por Francia, Italia y Gran Bretaña. Y en el otoño de 1971 fui a Estados Unidos acompañando a un grupo de recién licenciados en Arquitectura por la ETSAM. Quiero destacar ese viaje, porque, cuando visitamos Boston, el gran arquitecto Josep Lluís Sert –decano a la sazón de la Escuela de Diseño de la Universidad de Harvard– me invitó, a mí y a los jóvenes arquitectos de la expedición, a cenar en su casa. Recuerdo, particularmente, tres cosas de esa cena: en el salón se podía ver un magnífico mural de Joan Mirò, que congeniaba muy bien con la belleza arquitectónica de la casa; nos pusieron platos de cocina griega, para mí del todo desconocida; y, en tercer lugar, había estado por esas fechas en la casa el admirado poeta y escritor mejicano Octavio Paz. Josep Lluís Sert, sobrino del gran pintor José María Sert, fue un magnífico anfitrión.

Ni que decir tiene que aproveché la estancia en Boston, en ese otoño de 1971, para visitar el MIT. Nicholas Negroponte, que ocupaba a la sazón un

puesto docente e investigador importante en esa institución, tuvo el detalle de mostrarme las instalaciones. No puedo opinar sobre los aparatos y demás artefactos que allí me enseñó el amable Negro Ponte, pero sí debo decir que en aquel centro, que pasaba por ser el número uno de los de su clase en el mundo, estaban muy «atrasados» (si se me permite decirlo así) respecto al Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid (CCUM) en lo relativo a las investigaciones computacionales de tipo estético-cultural.



Figura 49. José Miguel Ullán, Ignacio Gómez de Liaño y Eusebio Sempere.

8. Selección de artículos de los boletines

8.1. «Una aplicación de la Gramática de casos». Publicado en el Boletín número 13 de diciembre de 1970

Autora: **Violeta Demonte**. Catedrática emérita de la Universidad Autónoma Madrid; hasta 2014 fue directora del Instituto de Lengua, Literatura y antropología del CSIC. Doctora en Filosofía y Letras (Filología Española) Tesis doctoral: *Las oraciones subordinadas sustantivas en una gramática generativa del español*, director Fernando Lázaro Carreter. Especialidad en Lingüística teórica, Gramática española y gramática formal de las lenguas naturales, Teoría léxica y relaciones léxico-sintaxis y Filosofía de la gramática.

Nota preliminar a «Una aplicación de la gramática de los casos»: La semántica generativa como eje de un seminario, y la anticipación de algún instrumento computacional.

A finales de los años cincuenta del siglo pasado el estudio de los lenguajes y las gramáticas formales era un foco de interés muy relevante para filósofos, matemáticos, y también para algunos lingüistas; a fin de cuentas formalizar la capacidad humana por antonomasia era empezar a intentar entenderla y explicarla. Nuevas ideas y discusiones se entrecruzaban y estaba implícita, aunque así no se dijera, la suposición de que podría llegar a haber una relación estrecha entre una nueva lingüística, la lingüística formal, y la informática. Más estrictamente, los únicos sitios en que por aquel entonces se procuraba una explicación científica, formalmente diseñada, del lenguaje y las lenguas eran los departamentos de ingeniería electrónica. Cuando Bar Hillel –quien trazaría luego las líneas fundamentales por las que discurrirán, de una parte, las gramáticas categoriales y, de otra, la traducción automática– llega a los EE.UU. hacia 1950 pensaba, al igual que Zellig Harris, el maestro

de Chomsky, que las lenguas naturales podían representarse por medio de gramáticas de estructura sintagmática libres de contexto y que debía haber «procedimientos de descubrimiento» para llegar a esas gramáticas. Cuando conoce a Chomsky, que se había instalado en Harvard en 1951, este joven lingüista dialogaba con matemáticos e ingenieros y empezaba ya a formular su teoría de la «competencia» lingüística y a esbozar el modelo llamado de la lingüística generativo-transformatoria [GT]. La lingüística GT, al igual que la de los científicos de la información y de la computación, concebía la gramática como un sistema de reglas generativas; no obstante paso a paso se iría alejando considerablemente de las gramáticas y los lenguajes formales que interesaban a los informáticos. Una cosa era que las reglas derivasen fórmulas bien formadas dados ciertos primitivos y símbolos de una gramática X y otra que caracterizasen con procedimientos (cuasi) matemáticos la capacidad humana del lenguaje, es decir, que fuesen capaces de generar oraciones gramaticales y no agramaticales tal como hacemos los seres humanos porque así nos lo permite nuestra «facultad del lenguaje». Pese a estos desajustes epistemológicos, científicos como Bar-Hillel y Chomsky se reconocían influencias mutuas y entablaban discusiones fructíferas. Por otra parte, Chomsky daba clases a ingenieros y matemáticos para explicarles los modelos posibles de gramáticas formales, las relaciones entre ellas y de qué tipo de lenguas podían dar razón.

En 1957 Chomsky publica su obra seminal, *Estructuras sintácticas*, donde demuestra ya que las gramáticas de estructura de frases, los procesos *markovianos* y en general las aproximaciones probabilísticas son inadecuadas para enumerar estructuras del lenguaje natural descriptiva y explicativamente satisfactorias (es decir, capaces de caracterizar propiedades típicas de las lenguas humanas como la «dependencia de la estructura» o las restricciones de «localidad»). Los modelos informáticos pretendían sobre todo analizar grandes masas de datos mediante procedimientos probabilísticos. No es lateral señalar, sin embargo, que si bien la teoría de Chomsky iba a tomar luego un camino muy específico dentro de las gramáticas formales al dirigirse hacia la caracterización de la capacidad cognitiva que subyace a la actividad lingüística, en los años cincuenta Chomsky hará aportaciones importantes a la informática, en particular a la teoría de autómatas y al estudio de los lenguajes formales. Un artículo suyo de 1956 «Three models of linguistic description», el más relevante en este sentido, estableció una «jerarquía» de cuatro tipos de lenguajes formales (*recursivamente enumerables, sensibles al contexto, libres de contexto y lenguajes regulares*) que se iba a convertir en un con-

cepto central de la informática e iba a servir de base, entre otras cosas, para algunos lenguajes de programación. A lo largo de la década de los sesenta la gramática GT fue adquiriendo renombre, protagonismo (más entre filósofos y científicos que entre filólogos), suscitando admiración y algún rechazo (sobre todo por los estructuralistas y los conductistas) y había ya conciencia de que era una manera nueva de estudiar el lenguaje.

En este contexto, que en el vanguardista CCUM se creara en 1969 un *Seminario de Lingüística Matemática* (LM) dedicado a estudiar algunos desarrollos de la gramática generativo-transformatoria era de todo menos raro, aunque ya los lingüistas chomskianos fueran concibiendo otras maneras de caracterizar explícita y formalmente (generativamente) las lenguas naturales y estas maneras no requiriesen directamente de la informática. ¿Quién podía saber con certeza si estos desarrollos abstractos de los lingüistas podrían tener en algún momento repercusiones directas o indirectas sobre la computación? En todo caso, conviene decir por aquí que, como se señala en la *Introducción* de los editores de este libro respecto de otros seminarios, si bien nos sentíamos intelectualmente cómodos en un centro de cálculo y el inmenso ordenador que allí se alojaba era una especie de tótem que nos alentaba y nos hacía sentir que formábamos parte de la modernidad, no hicimos uso de la enorme máquina a la que mirábamos con admiración cuando pasábamos por delante de la habitación que la contenía. Pero por muchas otras razones era cierto que allí, en efecto, formábamos parte del nuevo mundo que simbolizaba esa máquina. La participación en nuestro seminario de lingüistas, filósofos y psicólogos de distintas edades y niveles de instalación en la academia hacía los debates muy vivos y apasionantes. Era un lugar de aprendizaje porque estudiábamos mientras intentábamos entender y crear; y, como se ha dicho en muchos lugares pero no huelga repetir, nada de aquello hubiera sido posible sin el impulso, la imaginación y la pasión de nuestro coordinador, el filósofo e ingeniero Víctor Sánchez de Zavala.

¿Pero qué hacíamos allí? Siguiendo con este escueto relato, en una breve página de 1969 en la que el Seminario de LM define sus objetivos se decía que el Seminario se orientaría hacia la posible matematización del análisis semántico y al «estudio de los fundamentos de la semántica actual». En términos simples, el seminario aspiraba a estudiar la semántica subyacente a las expresiones lingüísticas, seguir un programa que aspiraba a derivar las formas sintácticas de relaciones de significado léxica y/o semánticamente motivadas. Y en efecto, uno de los desarrollos, más bien contestatario, del programa generativista daba pie a esta expresión de deseo. Una idea clave del programa

GT, como he sugerido, era la de que las reglas de la gramática debían ser capaces de establecer conexiones (derivaciones) entre oraciones léxicamente relacionadas. Estructuras como *La bomba destruyó la ciudad*, *la destrucción de la ciudad*, *La ciudad fue destruida por la bomba*, *La ciudad se destruyó* se derivaban unas de otras mediante «reglas transformatorias». Esta hipótesis, desarrollada detenidamente por Chomsky en *Estructuras sintácticas* (1957) y en *Aspectos de la teoría de la sintaxis* (1965), contenía en sí una pequeña bomba de relojería para la teoría de una sintaxis formal completamente autónoma: si las relaciones transformacionales se fundaban sobre similitudes léxicas de los predicados era entonces posible suponer que las reglas iniciales de la gramática podían contener algo más que símbolos categoriales sintácticos. Podía ser que los constituyentes iniciales fuesen subelementos léxicos abstractos (*CAUSE*, *ACTION*, por ejemplo), algo así como moléculas conceptuales universales que salían de la descomposición abstracta de los predicados. Y se podía pensar asimismo que estas categorías sintáctico-semánticas «dirigiesen» también la derivación, es decir tuviesen repercusión en cómo serían las estructuras que las contuviesen. *Juan rompió el plato*, por ejemplo, no se analizaría solo como (1a), en términos de categorías sintácticas puras, podría analizarse como en (1b) donde los términos en mayúsculas representan los predicados abstractos que componen *romper*, y *x* e *y* son respectivamente el Causante y el Objeto que cambia de estado:

- (1) a. $[_O [_{SN} \text{Juan} [_{SV} \text{rompió} [_{SN} \text{el plato}]]]]$
 b. $[_x \text{CAUSÓ} [_y \text{LLEGAR A ESTAR} [\text{roto}]]]]$

Ray Jackendoff, Charles Fillmore, George Lakoff, James Mc Cawley o Paul Postal, entre otros, están en la génesis de un subprograma de la gramática chomskiana, el de la «semántica generativa» que, con esta denominación, tuvo su auge en los años setenta del siglo XX. Grosso modo, este programa puede caracterizarse como lexicista frente al modelo transformacionista y abrió el camino hacia los modelos léxico-conceptuales (Levin, Jackendoff) o la gramática de construcciones (Jackendoff, Goldberg) o, en términos más generales, hacia la gramática cognitiva. La diferente visión de qué era básico, si las categorías sintácticas o los átomos conceptuales, se visiona también como el debate semántica generativa versus semántica interpretativa (interpretación de una sintaxis pura). En esta visión, como decía, elementos menores que la palabra: predicados abstractos en los que se descompondrían los predicados verbales, son la plantilla (lineal o jerárquica) en la que se sitúan los «argu-

mentos» de los predicados. A partir de esas representaciones, mediante diversos mecanismos intermedios, se obtiene la forma final de las oraciones.

Mi breve y modesto artículo de 1970 que se incorpora en este volumen como muestra de los trabajos del Seminario de LM ilustra uno de nuestros campos de análisis: el alcance y consecuencias de los modelos semántico-generativos. Otros frentes fueron los relativos a los cimientos de la teoría de una pragmática cognitiva (Víctor Sánchez de Zavala) que diese cuenta de cómo se inician cognitivamente y psicológicamente los procesos hacia los *outputs* de la actividad lingüística; otro: la esencia y las implicaciones de los debates teóricos entre lexicistas y transformacionistas (Carlos Piera). La propuesta de representación básica de las oraciones que este sencillo ejercicio describe y aplica a un conjunto de predicados del español (los predicados atributivos) fue concebida por el lingüista de Berkeley Charles Fillmore inicialmente en un artículo de 1968 (véase la bibliografía del artículo que se incluye en este volumen) y se denominó *Gramática de los casos*. Si en las gramáticas canónicas de estructura de frase los elementos que subyacen universalmente a las estructuras oracionales son símbolos categoriales como V, SV (sintagma verbal), N, SN (sintagma nominal), P, SP (sintagma preposicional) la gramática de los casos considera que los primitivos de toda configuración son «casos» abstractos, sin una necesaria realización morfé mica unívoca, que expresan nociones como «quién hace algo», «quién es afectado por una acción o un estado», «dónde tiene lugar una acción o proceso», como se explica en esta nota. Muchas cuestiones, que sería complejo explicar aquí, se ponían en tela de juicio en este modelo, entre ellas pueden mencionarse cuál es el formato adecuado de una regla transformatoria, qué papel desempeñan los «roles» semánticos en la formación de las oraciones, qué información (rasgos de selección, casos) debe contener una entrada léxica para dar lugar a la formación de oraciones sintácticamente gramaticales y semánticamente adecuadas. Simplificando mucho, podría decirse que esta propuesta de gramática formal, generativa pero parcialmente distinta de las gramáticas estrictamente chomskianas, introdujo en el debate gramatical cuestiones como la subclasificación léxica de los predicados verbales en términos de marcos de casos y la clasificación de los sustantivos en términos de rasgos semántico-formales binarios (+/-) tales como el de animacidad.

La Gramática de los Casos en cuanto tal no tuvo largo recorrido como teoría de formalización de las oraciones alternativa a la gramática GT, cuyo eje era y es la hipótesis de una «sintaxis autónoma», y en la que las nociones léxicas solo intervenían, como «restricciones de selección», en el momento de

la inserción de unidades léxicas para obtener así «estructuras superficiales», no eran la base de las estructuras sintácticas. Es importante hacer notar aquí que esta rama de la semántica generativa ha sido probablemente una de las más exitosas en cuanto a sus repercusiones en la ciencia de la computación. El propio Fillmore, y luego algunos otros científicos, extiende y desarrolla su gramática de los casos en lo que se denomina *Frame semantics* (semántica de marcos), una teoría del significado en la que se asume que el conocimiento lingüístico está necesariamente asociado al conocimiento enciclopédico, o que las palabras evocan e iluminan marcos generales de conocimiento. Esta semántica es parte de un programa de alcance más general que se plantea como alternativo a la lingüística chomskiana, el de la lingüística cognitiva. Para lo que aquí nos interesa, hay dos dimensiones de la semántica de marcos que tienen que ver con desarrollos computacionales actuales. Por una parte, la semántica de marcos ocupa un lugar en algunos desarrollos de la inteligencia artificial donde los «marcos» (conocimiento en sentido amplio, no solo lingüístico, que sirve para interpretar determinadas situaciones) contienen una parte semántica que se almacena en ontologías. Estas ontologías sirven para diversas realizaciones de la IA (Inteligencia Artificial) que «imitan» la inteligencia humana aunque no lleguen a explicarla ni sean en sentido estricto una modelización de ella.

Pero la más importante ejecución computacional de la gramática de los casos es el proyecto *FrameNet*, un recurso electrónico, una base de datos léxica, que tiene su centro, desde 1997, en el *International Computer Science Institute* de la Universidad de California en Berkeley y ha dado lugar a bases de datos similares para otras lenguas. Este lexicón, conceptual y lingüísticamente articulado, contiene alrededor de 13.000 palabras (unidades léxicas) analizadas y enlazadas a más de mil «marcos semánticos». Las unidades léxicas se formalizan con elementos básicos y elementos suplementarios y asocian múltiples ejemplos; los marcos analizan estructuras conceptuales (*nacer*, *acciones de comprar-vender*, *precedencia*, *relaciones causales*, entre muchas) que describen situaciones y eventos, relaciones entre ellos, y caracterizan los «roles» a los participantes en esos eventos, procesos y situaciones, o establecen sus realizaciones sintácticas canónicas, entre otros aspectos. Como se ve, se conciben unidades léxicas articuladas con valencias o casos y se describen las variantes sintácticas a que dan lugar, una idea similar a la que se desarrolla bajo la hipótesis de la gramática de los casos, pero con un alcance mayor ya que se pretende dar cuenta de aspectos más generales de la cognición. La semántica de marcos y los resultados de *FrameNet* se han utilizado y se siguen

utilizando en aplicaciones computacionales como, por ejemplo, en algunas que sirven para interacciones pregunta-respuesta o, en otra dimensión, para la extracción de información a partir de rotulaciones en términos de marcos semánticos.

Para concluir, no sé si es posible imaginar en el momento actual, al menos en el terreno de las humanidades, contextos de iniciación y exaltación similares al que vivimos en aquel corto período de los seminarios (el nuestro duró desde 1969 a 1973). Búsqueda de la modernidad, afán por entender lo nuevo y anticipación de lo que va a venir son algunas expresiones que podrían resumir aquellas empresas.

por Violeta Demonte. Madrid, agosto de 2019.

UNA APLICACION DE LA GRAMATICA DE CASOS

Por Violeta Demonte

1. En "Aspectos de la teoría de la sintaxis" ha indicado Chomsky la naturaleza esencialmente relacional de los conceptos gramaticales de sujeto (de una oración) y objeto (de un sintagma verbal) en tanto opuesta a la naturaleza categorial de los de sintagma nominal (SN), sintagma verbal (SV), verbo (V), etc. (Chomsky, 1965, I, § 4, p. 23). En su gramática, los símbolos categoriales se introducen en las reglas de estructura de frase de la base del componente sintáctico y las relaciones sintácticas se definen como relaciones de hecho entre los símbolos categoriales dentro de esos indicadores locutivos subyacentes. En otras palabras: el sujeto es una relación entre un SN y el nudo 0 que lo domina inmediatamente, y el objeto la que se establece entre un SN y el SV que lo gobierna.

Desde su trabajo de 1966 Charles J. Fillmore se ha propuesto cuestionar la validez lingüística de las nociones de sujeto (de una oración) y objeto (de un sintagma verbal) y, por consiguiente, la adecuación de las propuestas de Chomsky para

reconstruir formalmente la distinción entre conceptos gramaticales categoriales y conceptos gramaticales relacionales. En Fillmore 1970, se dirá que lo que Chomsky formula es una definición puramente "configuracional" pero que un mismo ítem lexical, sujeto de varias estructuras profundas, suele tener un rol semántico no unívoco.

La teoría de la gramática de casos que desarrolla Fillmore plantea que estas relaciones son, en las lenguas que las utilizan, pertinentes sólo a nivel de la estructura superficial, mientras que en la estructura profunda lo que podemos describir son categorías relacionales abstractas denominadas casos; todo sustantivo de una oración estará gobernado por alguna de las varias categorías de caso, y ellas indican el significado "situacional" de este sustantivo en una interpretación total, sintáctico-semántica, de esa oración.

La gramática de casos viene a ser, pues, una contribución al estudio de los universales sintácticos sustantivos y formales, asume básicamente que las transformaciones preservan el significado y asigna una importancia central a las categorías "encubiertas", a aquellas que aun no teniendo una realización morfémica se evidencian ante las restricciones selectivas y las posibilidades transformacionales.

2. En este trabajo reseñaremos dicha teoría gramatical y consideraremos su funcionamiento en relación con un subconjunto de los verbos atributivos del español. Nos ocuparemos de dar cuenta de la forma de las reglas de la base, de la naturaleza y número de casos que se proponen, de los efectos de las reglas transformatorias, de problemas de selección lexical y, final y previo a la aplicación, de las consecuencias explicativas de este modelo.

2.1. Toda oración consiste de una Modalidad (M) y una Proposición (P). La Modalidad incluye la negación, el tiempo, el modo y el aspecto, la Proposición, equivalente a los predicados de la lógica simbólica, consiste de un V y de una o más categorías de Caso, cada una de las cuales, a su vez, se subdivide en un marcador de caso (K) y un SN. De este modo las reglas iniciales resultan ser las siguientes:

O	→	M P
M	→	T
P	→	V+C ₁ +...+C _n
C ₁	→	A, D, O, I, L, etc.

Se postula que las preposiciones son típicamente los marcadores de caso y que, por lo tanto, algunos de ellos se realizan siempre como \emptyset . Una restricción fundamental indicada por Fillmore en su trabajo de 1968 (si bien empieza a ponerla en duda posteriormente) es la de que cada caso puede aparecer só-

lo una vez en la estructura profunda. Momentáneamente, asumiremos este último supuesto, a los efectos de nuestro análisis.

2.2. Interesa especificar la naturaleza de la noción de caso y el número de posibles categorías de caso que pueda pensarse como probablemente aplicable a la mayoría de las lenguas naturales.

"Esta noción abarca un conjunto de conceptos universales, quizá innatos, que identifican ciertos tipos de juicios que los seres humanos son capaces de hacer en relación con las cosas que ocurren a su alrededor; juicios acerca de quién hizo algo, a quién le pasó, qué ha cambiado, etc." (Fillmore 1968, p. 24). Aunque queda mucho por investigar en cuanto al número de casos y los criterios para su definición aceptaremos en principio para el español los seis que se proponen en Fillmore 1968.

Agentivo (A): el caso del, casi siempre, (ser) animado que se percibe como instigador de la acción identificada por el verbo.

Instrumental (I): el caso de la fuerza inanimada o el del objeto implicado como causa de la acción o estado identificados por el verbo.

Dativo (D): el caso del ser animado afectado por el estado o acción que el verbo indica.

Factitivo (F): el caso del objeto o ser resultante de la acción o estado que el verbo señala, o bien que se interpreta como parte del significado del verbo.

Locativo (L): el caso que identifica la locación o la orientación espacial de la acción o estado identificados por el verbo.

Objetivo (O): el caso semánticamente más neutral, el de toda cosa representable por un sustantivo cuyo rol en la acción o estado se identifica por la interpretación semántica del verbo mismo; es posible que el concepto debiera limitarse a las cosas que resultan afectadas por la acción o estado indicados por el verbo. Por otra parte, el término "objetivo" no debe confundirse con la noción de objeto directo ni con el nombre del caso superficial sinónimo con el acusativo. (Fillmore 1968, p. 24-25).

De las definiciones resulta obvio que no se nos está proponiendo una sistematización equivalente a las tradicionales en las gramáticas que describen lenguas de flexión nominal; el caso no define una realización morfémica superficial de relaciones sintácticas particulares ni cada caso supone una única función sintáctica superficial, lo que lo caracteriza parece

ser el definir un cierto tipo de relación semántica que se establece entre sustantivos y verbos dentro de una oración.

Es así que esta gramática hace posible asignar una única estructura profunda a oraciones que, teniendo el mismo significado e ítems lexicales idénticos difieren en cambio en sus sujetos y objetos directos superficiales.

Consideremos el ejemplo de Fillmore:

- (1)
- a. Juan rompió la ventana con el martillo.
 - b. El martillo rompió la ventana.
 - c. La ventana se rompió.

La relación de romper a ventana es la misma en las tres oraciones, pero no obstante ello el sustantivo resulta objeto directo en las dos primeras y sujeto en la tercera. También es estable la relación semántica entre romper y martillo aunque martillo sea sujeto en b y término del complemento de instrumento en a. La gramática de casos permite establecer que ventana es el caso O en las tres oraciones, que martillo es I en las dos primeras y que Juan, en a, es un agentivo.

De manera que las tres representan por medio de la estructura profunda siguiente:

(1')



El hecho de que uno u otro sustantivo aparezca como sujeto de esas oraciones se explica por la generalización que sigue, relativa a las oraciones del inglés y, en principio, también a las del español.

- a. Si hay un A éste deviene sujeto.
- b. Si hay un I éste deviene sujeto.
- c. En los demás casos el sujeto es el O.

2.3. Estas tres últimas son reglas transformatorias cuya función dentro de la gramática es, como vemos, una de topicalización primaria: operan sobre la estructura profunda para elegir

el caso que va a colocarse en la posición de sujeto de la estructura superficial. Las reglas transformatorias, por otra parte, especifican también el orden superficial de los argumentos, las preposiciones que el verbo rija cuando no estén dadas por una regla general, los subordinantes, etc.

2.4. La selección lexical: El criterio fundamental a tener en cuenta tanto para la subcategorización de los sustantivos como en cuanto a los verbos es el "entorno" de casos con los cuales ellos operen o puedan operar. Una regla del tipo

$$N \longrightarrow [+animado] /^{A,D}[X - Y]$$

es obligatoria en la gramática y significa que todo sustantivo en el lugar del caso D o del caso A debe contener el rasgo de + animado. Al mismo tiempo si de lo que se trata es de subclasificar un ítem lexical específico, p. ej. "belleza", debe haber una o varias reglas que especifiquen las relaciones de caso que él pueda tener con el resto de la oración, así:

$$\text{belleza} \longrightarrow [-\text{Locativo}] = \text{no locativo}$$

La inserción de los verbos depende del marco de casos que provea la oración, esto es: las entradas lexicales de cada uno de los verbos indicarán el conjunto de casos en que ellos realizan su significación:

$$\text{dar} \longrightarrow +[=O+D+A]$$

$$\text{caminar} +[=A]$$

(El guión inicial es signo de contexto).

Dado que la mayoría de los verbos pueden aparecer en más de un entorno de casos, la gramática debe proveer una manera de representar este hecho de la forma más económica posible, que, evidentemente, será la de exhibir algunos casos como optativos:

$$\text{abrir} \longrightarrow +[-O], \text{ La puerta abierta}$$

$$\text{abrir} \longrightarrow +[-O+A], \text{ Juan abrió la puerta}$$

$$\text{abrir} \longrightarrow +[-O+I], \text{ El viento abrió la puerta}$$

$$\text{abrir} \longrightarrow +[-O+I+A], \text{ Juan abrió la puerta con una gan}$$

$$\text{abrir} \quad +[-O+(I)+(A)]$$

Otro tipo de regla de subclasificación es la de los paréntesis ligados, ella indica que debe elegirse uno u otro de los casos en conexión:

$$\text{matar} \longrightarrow +[-O+D+(I)(A)], \text{ o bien "Se mató"} \\ \text{ o "Alguien lo mató"}$$

Es importante tener en cuenta que esta disposición de los casos no significa un orden básico en la estructura profunda, ese orden no puede existir en este nivel desde el momento en que una misma lengua permite varias ordenaciones compatibles de los mismos casos.

2.5. Se desprende de lo antedicho que una gramática de este tipo, y en ello consiste en parte su poder "explicativo", permitiría hacer una clasificación, si bien sumamente compleja, de los verbos de una lengua, teniendo en cuenta el marco de casos en que ellos puedan aparecer y, consiguientemente, haría factible una tipología básica de las oraciones según las varias ordenaciones posibles de casos.

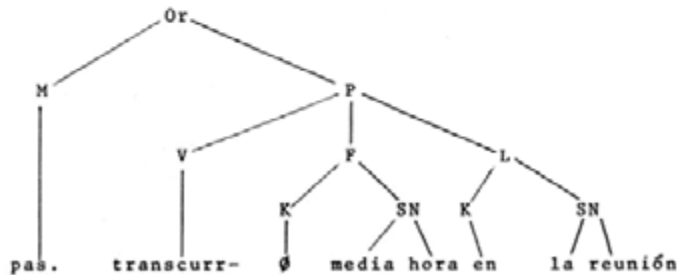
3. Procuraremos sistematizar el entorno de casos regido por los verbos del español transcurrir, permanecer, aparecer, ser y parecer que definimos como atributivos en el sentido, indicado por Pottier, de que "orientan el predicado hacia el sujeto" (Pottier 1969, p. 62).

Consideremos las oraciones:

- (2)
- a. Transcurrió media hora de reunión.
- b. La media hora transcurrida en la reunión.
- c. Lo transcurrido en la reunión.

A ellas corresponde la estructura profunda representada en la figura 2'.

(2')



Si asumimos la definición que Fillmore propone para el caso Factitivo, y puesto que transcurrir es un ítem lexical que exige, como parte de su significado mismo, un modificador que exprese un período de tiempo, no podemos sino postular el caso factitivo para el SN media hora. Facultativamente puede aparecer en su entorno también el identificador de la locación del estado indicado por el verbo: L.

Ello nos permite deducir nuestra primera regla transformatoria: (A) El factitivo obligatorio pasa a ser sujeto en la estructura sup. Para generar 2b y 2c sería necesario aplicar, antes o después de la regla A (ello debería analizarse más detalladamente y es un problema que consideraremos en otra oportunidad) una transformación de nominalización y otra de pronominalización. En cuanto al genitivo lo consideramos una neutralización (a nivel de superficie) de varias funciones de caso.

Si bien la gramática tradicional sitúa a transcurrir dentro de los verbos personales -y lo es formalmente puesto que rige la concordancia verbo-sintagma nominal sujeto-, semánticamente se trataría de un verbo impersonal del tipo de los impersonales puros, "era jueves", p. ej.

Un aspecto interesante se deviene de que estos verbos nos permiten estudiar un grupo de casos que prácticamente no aparecen nunca en los ejemplos más complejos de Fillmore ni aun en el análisis de esta gramática desde el punto de vista del español que ha sido desarrollado por Goldin. Al situarnos en oraciones concretas con estos verbos de nuestra lengua nos parece que la lista propuesta en "The case for Case" no es exhaustiva, que las relaciones semánticas que nos plantean los textos que consideramos hacen necesaria la incorporación de otro caso.

Veamos las oraciones:

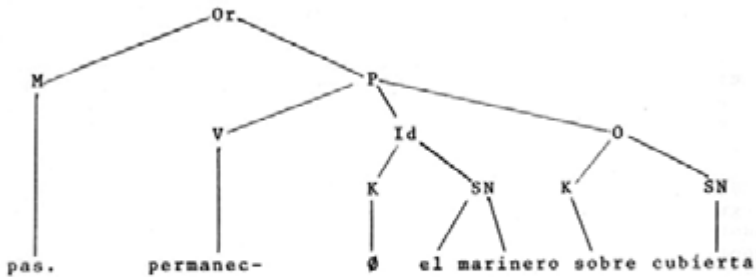
- (3) a. El marinero permaneció sobre cubierta.
 b. El marinero permaneció quieto.
 c. El libro permanece en la biblioteca.

No parece posible indicar que estos tres sujetos superficiales correspondan a un caso profundo A puesto que ni hay una "instigación" ni, propiamente, puede pensarse en "acción". Tampoco se trataría de Dativos puesto que el permanecer no "afecta" a sus sujetos ni se trata en todos los casos de elementos "animados". La hipótesis de un objetivo se descarta porque, desde nuestras definiciones iniciales, cada caso puede aparecer sólo una vez en la estructura profunda y, en estas oraciones, sobre cubierta, quieto y en la biblioteca rellenan el espacio de O porque son, en la definición tradicional, "atributos" de presencia imprescindible y relación estrecha con el verbo.

De manera que, tomando 3a, la representamos de la manera siguiente:

30

(3')



Proponemos llamar a este caso que, en principio, parece ser específico de los verbos atributivos un "Identificativo" o: el caso del objeto o ser animado al que se le atribuye la duración, locación o cualidad indicados por el significado conjunto del verbo y el objetivo que aparece obligatoriamente con él.

Una segunda (sub)regla transformatoria sería pues:

(B) El identificativo pasa a ser sujeto en la estructura superficial.

(4)

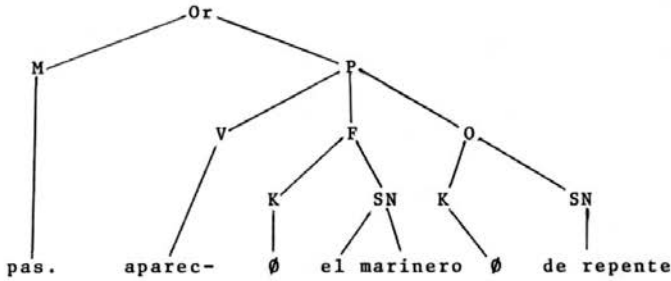
- a. El marinero apareció { en una playa del norte de Colombia.
 { tras largos años de ausencia.
 { de repente.
- b. El cuento aparece en la antología de Sudamérica.

Estos ejemplos nos plantean una situación distinta derivada del significado complejo del verbo aparecer. En 4a no parece tener una acepción atributiva sino indicar ya el movimiento de alguien hacia otro estado ya el que un participante de la situación vea (descubra) algo no previsto: "Apareció una ballena azul en la playa de Copacabana".

4b es sí similar a los casos de atributivos antes analizados.

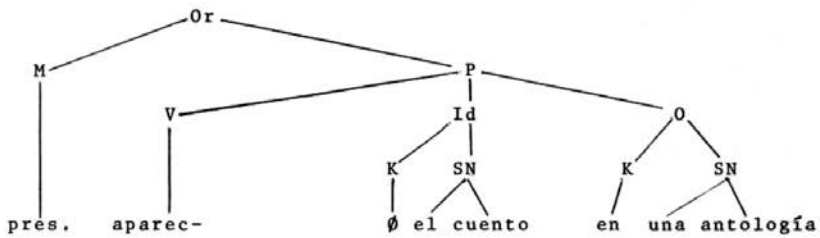
A 4a le asignamos pues:

(4')



A 4b

(4'')



En cuanto a 4', (A) es la regla transformatoria perteniente y (B) la de 4''.

Atenderemos por último al tipo de verbo atributivo puro:

(5) a. El hombre parece tonto.

Continuando con nuestros supuestos nos resulta conveniente proponer para 5a una estructura profunda en la que el SN inicial esté en caso ID y el adjetivo se adscriba a un F.

4. Las reglas de subclasificación que se desprenden de los cuatro tipos analizados, son, pues:

1. "Impersonal"- transcurrir \longrightarrow +[-F]
2. Tipo "permanecer" \longrightarrow +[-ID+F]
3. Tipo "aparecer tras" \longrightarrow +[-ID+O]
4. Atributivo puro \longrightarrow +[-F O]

32

Como corolario resulta la siguiente regla transformatoria general y observaciones susceptibles aún de una formalización más estricta:

Los verbos atributivos presentan un marco casual que exhibe o bien Factitivo o bien Identificativo obligatorios, o bien ambos. Si los dos están presentes el Id pasa a ser Sujeto de la estructura superficial. En todos esos entornos puede aparecer un O que nunca se elige como sujeto.

Bibliografía:

- CHOMSKY, Noam, 1965: Aspects of the theory of syntax. Cambridge: The MIT Press.
- FILLMORE, Charles, 1966: A proposal concerning English prepositions. Georgetown University Monograph Series on Languages and Linguistics 19.19-33.
- 1968: The case for case. Universals in linguistic theory, eds emmon Bach and Robert Harms: Holt, Rinehart and Winston, p. 1-91.
- 1970: Subjects, Speakers and Roles. Working Papers in Linguistics n° 4. CISRC. The Ohio State University, p. 31-64.
- GOLDIN, Mark, 1968: Spanish case and function. Georgetown University Press. Washington.
- POTTIER, Bernard, 1969: Grammaire de l'espagnol P.U.F. París.

8.2. «Pintura Modular». Publicado en el Boletín números 8-9 de enero de 1970

Autor: **Florentino Briones**. Doctor en Ciencias (Matemáticas). Director del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid desde su fundación hasta 1974. Anteriormente trabajó en la Junta de Energía Nuclear y, para la rama de energía atómica de la OCDE, en el Centro Común de Investigación de la Comunidad Europea en materia de energía atómica (Euratom) en su sede en Ispra – Italia. Y después del Centro de Cálculo pasó a trabajar en el Banco de España.

En este y en otros muchos proyectos en los que se entremezclaron artes visuales o música y computación fue Florentino Briones el que desarrolló el análisis informático que posibilitó la creación de programas *ad hoc* para diversos artistas. En el presente artículo se muestra el análisis del funcionamiento de la pintura de Manuel Barbadillo, que había iniciado tiempo antes una serie de obras creadas a partir de unos módulos básicos y sus posibilidades combinatorias.

3

PINTURA MODULAR

Por F. Briones

1) Introducción

Durante el curso 1968-69 se ha experimentado en el Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, tratando de reproducir automáticamente el proceso de creación de cuadros modulares por Barbadillo, aplicándose reglas de composición que él ya conocía

4

Si el pintor hubiera sido otro, las reglas encontradas habrían sido, sin duda, distintas. Es por esto por lo que vamos a tratar ahora de generalizarlas a fin de redactar programas que sean capaces, no de crear obras de arte, pero sí de ayudar al pintor en su proceso creativo, utilizando la calculadora como un instrumento más a su disposición.

Nos limitamos por simplicidad a la pintura modular en blanco y negro con módulo cuadrado, dejando para más adelante su generalización a módulos coloreados y de formas diversas.

Distinguiremos tres fases en la creación de un cuadro modular:

- 1°.- Elección del módulo o módulos de trabajo.
- 2°.- Composición del macromódulo.
- 3°.- Composición del cuadro.

La realización de cualquiera de las fases 1 ó 2 puede ser tan compleja que el artista decida, llegado un cierto momento, considerar acabada la obra. También puede el artista, terminada una cierta fase, utilizar técnicas pertenecientes a una fase anterior. La elección de los nombres es puramente indicativa del proceso seguido por el propio Barbadillo.

Sigamos paso a paso, como ejemplo, la creación de un cuadro por Barbadillo.

1ª Fase - Barbadillo selecciona como módulos de trabajo el siguiente



junto con su complementario (blanco sobre negro).

2ª Fase - Construye un macromódulo compuesto por cuatro de los módulos de trabajo:



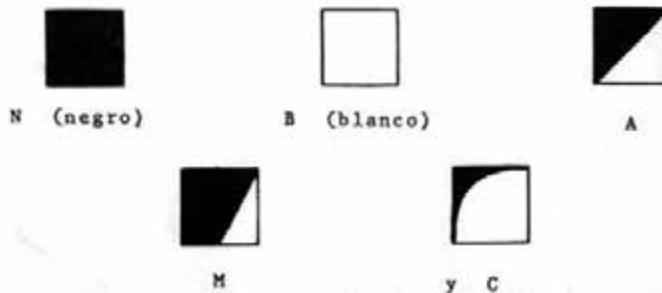
3ª Fase - Combinando 4 macromódulos iguales obtiene el siguiente cuadro



2) Los micromódulos elementales

Dado que los módulos de trabajo son las "palabras" con las que va a trabajar el artista, y que un cuadro va a estar constituido por una acumulación ordenada de ellos, es lógico pensar que estos módulos serán relativamente simples, ya que si no lo fueran, un cuadro construido con ellos sería un galimatías (una frase construida con palabras ininteligibles).

Cuando un escritor redacta una frase, las palabras le vienen de una forma casi intuitiva. No es normal (aunque sea posible) que escoja unas cuantas letras y busque, combinándolas, las palabras que debe utilizar. Análogamente, es normal (y es la forma en que Barbadillo lo hace) que el pintor escoja intuitivamente la forma de los módulos con los que va a trabajar. Pero también cabe la posibilidad de que el pintor construya sus módulos a partir de unos módulos elementales o micromódulos (las letras del alfabeto) fijos y no dependientes de él (como las letras del alfabeto castellano son independientes del escritor que las utiliza). Consideraremos en principio los siguientes micromódulos, a los que se podrán añadir aquellos otros que se estime convenientes:



6

aun cuando veremos que los dos primeros pueden ser generados a partir de cualquier otro.

Todos los cuadros de Barbadillo de su época más reciente pueden generarse a partir del último micromódulo.

3) Funciones de construcción

Definiremos las siguientes funciones de transformación y composición de micromódulos, entendiéndose que lo que se genera puede considerarse como un nuevo micromódulo y que cualquier micromódulo puede ser seleccionado a su vez como módulo de trabajo:

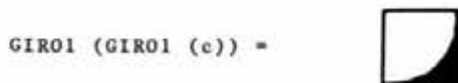
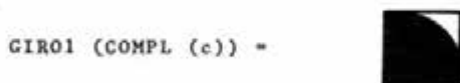
COMPL (x) - Función que produce un módulo en el que la parte negra de x pasa a ser blanca, y la blanca, negra.



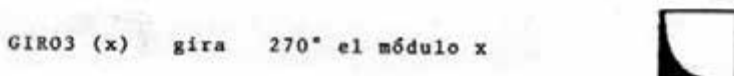
GIRO1 (x) - Función cuyo producto es el propio módulo x girado 90° en el sentido de las agujas del reloj.



Una función puede siempre ser argumento de otra función. Así, por ejemplo:



Como puede verse, no es necesario definir funciones que giren el módulo 180° o 270°, pero por comodidad, las definiremos:



Si los micromódulos son simétricos respecto a un eje, no es necesario definir una función que nos dé su imagen especular, ya que siempre se podrá obtener ésta mediante giros; no obstante, esto no es posible para módulos asimétricos, por lo que definiremos

ESPEC (x) que dará como resultado un módulo que es el simétrico de x respecto de un eje vertical.

ESPEC (M) =



Definiremos ahora tres funciones que tienen como argumento dos módulos.

UNION (x,y) dará como resultado un módulo que es negro donde x o y son negros, y blanco sólo donde ambos son simultáneamente blancos.

UNION (c, GIRO2 (c)) =



INTER (x,y) dará como resultado un módulo que es blanco donde x o y son blancos, y negro sólo donde ambos lo son simultáneamente

INTER (M, COMPL (N)) =



Esta segunda función no es estrictamente necesaria, ya que habríamos obtenido el mismo resultado poniendo

COMPL (UNION (COMPL (M), N))

o en general,

COMPL (UNION (COMPL (x), COMPL (y)))

Puede verse que el módulo N se puede construir como UNION (x, COMPL (x)), y el módulo B como INTER (x, COMPL (x)), sea cual sea el módulo x.

EXCLU (x,y) Da un módulo negro donde uno de los dos es negro, y blanco donde ambos son negros o ambos son blancos simultáneamente

EXCLU (C, GIRO1(c)) =



8

Tampoco esta función es estrictamente necesaria:

$$\text{EXCLU}(x,y) = \text{UNION} (\text{INTER}(x,\text{COMPL}(y)), \text{INTER}(y,\text{COMPL}(x)))$$

Finalmente definiremos la función: $\text{COMPO}(k, x_1, x_2, \dots)$, donde el primer argumento es un número natural al que siguen k^2 argumentos más, y que da como resultado un nuevo módulo formado por k filas de k módulos, colocados de izquierda a derecha y de arriba abajo por el orden en que se dan.

$$\text{COMPO}(2,c, \text{GIRO1}(c), \text{COMPL}(\text{GIRO1}(c)), \text{COMPL}(c)) =$$



El caso particular

$$\text{COMPO}(2,x, \text{GIRO1}(x), \text{GIRO3}(x), \text{GIRO2}(x))$$

es tan normal que utilizaremos la convención $\text{COMPO}(1,x)$ para describirlo

$$\text{COMPO}(1,c) =$$



$$\text{COMPO}(1, \text{GIRO1}(c)) =$$



Otro caso bastante normal es el

$$\text{COMPO}(2,x,y, \text{GIRO1}(y), \text{GIRO2}(x))$$

que escribiremos simplemente como $\text{COMPO}(o,x,y)$

$$\text{COMPO}(o, \text{GIRO1}(c), \text{COMPL}(\text{GIRO2}(c))) =$$



Para construir módulos de tipo complejo convendrá dar nombres a los módulos intermedios que los componen. Por ejemplo, es sencillo ver a donde se llega con la serie

GC = GIRO1 (c) =



MC = COMPO (1, GC) =



CC = ESPEC (MC) =



OH = COMPO (0,MC,CC) =



mientras que no lo es verlo con la fórmula

OH = COMPO(0, COMPO(1, GIRO1(c)), ESPEC(COMPO(1, GIRO1(c))))

que es, sin embargo, lo mismo.

Los módulos más normalmente utilizados por Barbadillo pueden describirse en la siguiente forma

B1 = COMPO (2,N,B,N,B) =



B2 = COMPO (2, COMPL(c),C,N,B) =



B3 = COMPO (2, COMPL(c),N,N,C) =



B4 = COMPO (2, COMPL(c), GIRO1 (COMPL(c)),N,
COMPO (2,C, GIRO1(c),B,B) =

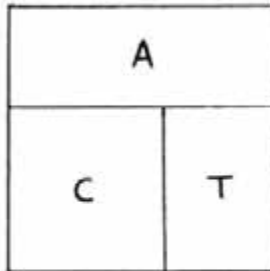


10

Como puede verse en este último ejemplo, y a fin de que un módulo compuesto pueda ser utilizado en conjunción con otros micromódulos para formar un módulo más complejo, hay que suponer que la función COMPO reduce el módulo compuesto al tamaño normal del micromódulo.

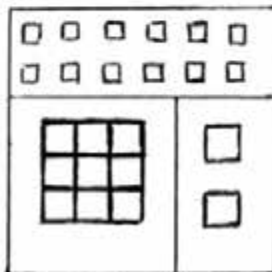
4) Forma de trabajar (1ª Fase)

Supondremos al artista situado ante el terminal óptico de una calculadora. Este terminal será un tubo de rayos catódicos dotado de "light pen" y de teclado de funciones. La pantalla estará dividida en tres zonas (A, T y C) en la forma siguiente:



A cada una de las teclas del teclado corresponderá un micromódulo elemental. La zona A (zona de archivo) estará subdividida en 12 casillas donde se archivarán los módulos que se vayan generando.

La zona T (zona de trabajo) tendrá capacidad para dos módulos, y la zona C (zona de composición) para k^2 ($k = 2, 3, \text{ o } 4$)



En cada una de las zonas habrá unos carteles que indicarán las funciones que se pueden realizar en ellas. Dichos carteles serán los siguientes:

Zona A : * LLEVAR A T1
 * LLEVAR A T2
 * BORRAR
 * SELECCIONAR

Para efectuar estas operaciones bastará señalar con el "light pen" el asterisco que las precede y el módulo a que se hace referencia.

Zona T : * TRAER DEL TECLADO *
 * LLEVAR AL OTRO T *
 * GIRO 1 *
 * GIRO 2 *
 * GIRO 3 *
 * ESPEC *
 * COMPL *
 * UNION *
 * INTER *
 * EXCLU *

En este caso se señalará el asterisco de la izquierda o de la derecha según que la operación se desee realizar en T1 o en T2. Para la primera operación, habrá que pulsar a continuación la tecla correspondiente al micromódulo deseado.

Zona C : * TRAER DE T1
 * TRAER DE T2
 * COMPO
 RED 2 3 4

Para las dos primeras operaciones habrá que señalar el asterisco y a continuación el sitio en que se desea colocar el contenido de T1 o T2. Lo primero que habrá que definir para manejar esta zona es el primer argumento (k) de la función COMPO. Para ello se señalará el número 2, 3, o 4 que sigue a la palabra RED.

Cada vez que se efectúe una de las operaciones UNION, INTER, EXCLU o COMPO, el resultado aparecerá de forma automática en el primer recuadro de A que esté libre. A medida que la zona A se vaya llenando convendrá ir borrando de ella aquellos resultados que no interese conservar. Todos aquellos módulos que se encuentren en A en el momento de señalar el asterisco que precede a la palabra SELECCIONAR serán seleccionados como módulos de trabajo, serán dibujados en un soporte permanente (mediante impresora o plotter) y sus características serán perforadas en tarjetas para su posible utilización posterior.

El programa que realiza todas estas funciones está siendo escrito por el Sr. Enrique de la Hoz y, como puede verse, se puede trabajar con él en la forma "clásica" en que Barbadiello pinta sus cuadros. No obstante, pensamos que en las fases 2 y 3 se aplican reglas de continuidad y simetría en las que la calculadora puede ayudar de forma diferente, por tanto consideraremos que la palabra SELECCIONAR realmente selecciona los módulos de trabajo a partir de los que con procedimientos distintos de los seguidos hasta ahora, se pintará el cuadro.

Si se quiere que un micromódulo elemental pase a ser módulo de trabajo, se hará en la zona T su intersección con el módulo N (o su unión con el B) a fin de que aparezca en A.

Una vez seleccionados los módulos de trabajo, que imaginaremos como azulejos sólidos, es lógico suponer que las funciones UNION, INTER y EXCLU, que implican una cierta "transparencia" de los mismos, no serán utilizadas.

Los giros de un módulo (de un azulejo) son siempre posibles. Supondremos que siempre es posible aplicar la función ESPEC (lo que equivale a decir que si se selecciona un módulo, se selecciona su simétrico).

El que se utilice el complementario de un módulo o no, quedará a elección del artista.

La función principalmente utilizada será una generalización de la función COMPO, pero se utilizará con ciertas restricciones, para lo que vamos primero a dar una forma de describir los micromódulos y los módulos de trabajo.

5) Orden de los módulos de trabajo

Para los micromódulos elementales, dividiremos sus cuatro lados en un número igual de partes iguales, de tal forma que cada segmento sea borde de una zona blanca o de una zona negra, pero no de una an parte negra y en parte blanca. Supondremos que esto se puede hacer con suficiente aproximación con un número finito de divisiones. Al número mínimo de divisiones que hay que hacer en un lado lo llamaremos orden del micromódulo. El orden de los micromódulos A, B, C y N será por tanto 1, mientras que el de M será 2.

Para módulos generados a partir de otros se calculará su orden a partir de sus componentes, de acuerdo con las siguientes reglas:

Las funciones COMPL, GIRO1, GIRO2, GIRO3 y ESPEC no cambian el orden del micromódulo.

Las funciones UNION, INTER y EXCLU producen un micromódulo cuyo orden es el mínimo común múltiplo de los órdenes de sus componentes.

La función COMPO da como resultado un módulo cuyo orden es k veces el mínimo común múltiplo de los órdenes de los componentes. (Para $k = 0,1$, es dos veces el m.c.m.).

Puede ocurrir que al construir un nuevo módulo, éste tenga la misma forma que otro, y sin embargo, resulte tener un orden diferente. El módulo COMPO (2, N, A, A, B) coincide en su forma con el A, y sin embargo resulta ser de orden 2. Aunque sólo sea por esto, diremos que ambos módulos son distintos.

Es más, el artista puede voluntariamente crear un módulo con la misma forma que otro, pero con un orden superior con métodos similares al siguiente

NN = COMPO (3, N, N, N, N, N, N, N, N, N)

XX = INTER (X, NN)

Si X era de orden 2, el módulo XX tendrá su misma forma pero su orden será tres veces mayor. En el momento de seleccionar sus módulos de trabajo, el artista seleccionará el que más le interese de los dos.

El orden de un módulo es un número que da idea de su complejidad. El aumentar artificialmente su orden equivale a decir que, para el artista, ese módulo es psicológicamente más complejo de lo que aparenta.

Uno de los datos que dará el artista a la calculadora a la hora de construir un macromódulo será el orden de complejidad deseado, entendiéndose por orden de complejidad de un macromódulo la suma de los órdenes de los módulos de trabajo que lo componen.

6) Importancia de los módulos de trabajo

Como hemos visto, el artista puede aumentar a voluntad los órdenes de cada uno de los módulos de tal forma que los órdenes resultantes no tengan nada que ver finalmente con la complejidad real de los mismos. Parece sin embargo que si se llega a esto no es ya porque al artista "psicológicamente" le parezca más complejo un módulo que otro, sino porque uno le parece más interesante que otro, o dicho de otra forma, que a uno le da más "importancia" que a otro.

14

Parece pues que en vez de variar arbitrariamente los órdenes de los módulos de trabajo es mejor dar éstos de forma realista (con alguna excepción "psicológica"), pero añadiendo otro número, a voluntad del artista, que mida su "importancia".

Veremos más adelante cómo la calculadora, dentro de aquellos macromódulos que tengan el orden deseado y que cumplan otras condiciones más, seleccionará aquéllos en los que la suma de las importancias de sus componentes sea mayor.

7) Descripción de los bordes

Los bordes de un micromódulo los describiremos a partir del vértice superior izquierdo siguiendo el sentido de las agujas del reloj. Describiremos uno tras otro los cuatro lados, separando sus descripciones con una barra / .

Si el orden del módulo es n , describiremos cada lado mediante n letras, seguidas cada una de una serie de números. Dividido cada lado en n segmentos iguales, las letras serán ordenadamente B o N, según que la zona adyacente a cada uno sea blanca o negra.

En el punto que separa dos segmentos consecutivos pueden confluír varias líneas que separen zonas negras y blancas del interior del módulo. Entre las letras correspondientes a dos segmentos aparecerán tantos números éstos como líneas confluyan en el punto de separación, midiendo éstos el ángulo que forman con el primero de los segmentos.

Por ejemplo, en un punto con la forma








la descripción sería:


... N 30, 90, 135 B ...

Si las letras son distintas, habrá un número impar de números. Si las letras son iguales, habrá un número par de ellos (en particular, puede no haber ninguno).

Así, para los micromódulos elementales, tendremos las siguientes descripciones

N =		→	/N/N/N/N/
B =		→	/B/B/B/B/
A =		→	/N 45/B/B 45/N/
M =		→	/NN61.2/BB/B61.2N/NN/
C =		→	/N0/B/B90/N/

Para el módulo INTER (M, COMPL (A)) tendríamos

	→	/BB45, 61.2/BB/B61.2N45/BB
---	---	----------------------------

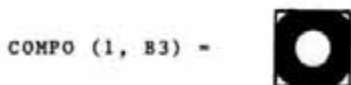
Supondremos que todas las funciones descritas para la primera fase construyen, al mismo tiempo que los módulos, sus descripciones, por lo que el artista no debe ocuparse de esto, aunque sí que le interesan sus consecuencias posteriores.

8) Consideraciones sobre la continuidad

Al construir el macromódulo a partir de los módulos de trabajo, parece que uno de los criterios excluyentes con los que cuenta siempre Barbadillo es un criterio de continuidad. Muchas combinaciones de módulos son rechazadas automáticamente por presentar discontinuidades no agradables, mientras que otras discontinuidades son admitidas.

16

Distinguiremos continuidad en las líneas y continuidad en los colores. En el macromódulo



hay ambos tipos de continuidad, mientras que en el



hay sólo continuidad de líneas.

Las líneas están suficientemente definidas con los datos incluidos en las descripciones dadas para los bordes de los módulos de trabajo, pero no ocurre así con los colores. Observemos el módulo B4 de Barbadillo:

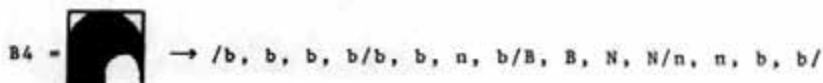
Es claro que hay una cierta discontinuidad de colores en el siguiente conjunto de dos módulos



sin embargo puede decirse que no la hay en el conjunto



a pesar de que junto a la zona B de un módulo está la zona N del otro y viceversa. Esto quiere decir que la descripción dada con sólo B y N para los colores es insuficiente. Distinguiremos dos calidades de negro y de blanco. En un caso utilizaremos las mayúsculas, indicando con ello que la continuidad exige que se le adose una zona con el mismo color, y en el otro utilizaremos la minúscula para indicar que el color adosado puede ser cualquiera. Los colores del módulo B4 podrían ser entonces



con lo que quedaría patente la discontinuidad del primer ejemplo y la continuidad del segundo.

Al adosar dos módulos, sin embargo, vuelven a surgir complicaciones, ya que la forma de uno puede influir en el otro. El siguiente macromódulo no parece ser discontinuo, a pesar de que no se cumplen en la línea central horizontal las leyes de continuidad tal como se han dado



En efecto, sobre esa línea los colores coinciden arriba y abajo en la siguiente forma

$$\frac{b, b, n, n, N, N, B, B}{b, b, n, b, b, b, b, b}$$


quedando enfrentadas a las dos N, dos b. El que esto a pesar de todo sea correcto, lo atribuimos a que el efecto de indiferencia a la continuidad de las n minúsculas se propaga hacia las N mayúsculas que se adosan a ellas siempre que al punto de unión no confluyan otras zonas blancas (no explícitas en la descripción de colores, pero que sí estarán en la descripción completa que incluye los ángulos de incidencia de las líneas).

Otro caso en que una zona puede influir en otra es si junto a la mayúscula de un color aparece la minúscula del otro, pero hay una línea suficientemente inclinada en el vértice en que se unen que hace que aumente la zona del color de la mayúscula hacia el interior del módulo.


Supongamos, por ejemplo, que definimos los bordes de los micromódulos elementales en la forma

N =  → /N/N/N/N/

18


B =  → /B/B/B/B/

A =  → /N45/B/B45/N/

M =  → /NN61.2/bb/B61.2N/NN

C =  → /n o/B/B90/n/

El módulo CB = COMPO (c, GIRO1 (c), B, B) tendrá, sin aplicar las reglas anteriores, la descripción

CB =  → /n o, 180 n/n o B/ BB/B 180 n/


Aplicando la segunda regla, quedará

/n o, 180 n / n o b / B B / b 180 n /

El módulo B4 de Barbadillo, que podemos construir como

COMPO (COMPL(c), GIRO1 (COMPL(c)), N , CB)

tendrá, por composición, la descripción

B4 =  → /bbo, 180 bb/bbonob/BB 90 NN/NN 180 bb/

Y aplicando nuevamente la segunda regla, queda

/bb o, 180 bb/bb o n o b/BB 90 NN/nn 180 bb/

Un tercer caso en que una mayúscula puede pasar a minúscula es cuando la zona correspondiente a la mayúscula es muy extensa. Por ejemplo, la zona negra debajo del siguiente conjunto de dos módulos



parece pedir una continuación, mientras que no ocurre lo mismo en este otro caso:



De todas maneras, el decidir cual es esta longitud mínima es una cuestión que dependerá del artista.

- - -

Estas reglas de continuidad es de desear que sean discutidas y completadas por los asistentes al seminario. Las reglas de simetría y la forma de trabajar con la calculadora (fases 2 y 3) serán publicadas en el próximo boletín.

8.3. «Teoría de la Acción en el Diseño arquitectónico.
Tratamiento automático de un ejemplo de conducta»
Publicado en el Boletín número 14 de marzo de 1971

También publicado en el nº 146, de febrero 1971, de la *Revista ARQUITECTURA*, del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Autores: **Guillermo Searle, Andrés Cristóbal Lorente y Carlos Sevilla Corella.**

Este artículo fue firmado por Andrés Cristóbal Lorente, profesor de la Universidad Complutense de Madrid y por los entonces alumnos de la E.T.S. de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid: Guillermo Searle Hernández y Carlos Sevilla Corella, participantes en el Seminario de Generación de Espacios Arquitectónicos.

Posteriormente a este artículo Carlos Sevilla se licenció en Arquitectura y también ejerció como profesor en la E.T.S. de Arquitectura de Madrid. Ambos: Andrés Cristóbal y Carlos Sevilla, ya han fallecido. Yo (Guillermo Searle), que estudiaba Arquitectura con Carlos, me desvié hacia la Ingeniería en Informática, desde donde ejercí como TIC (Tecnologías de Información y las Comunicaciones) de la Administración General del Estado y como letrado del Consejo General del Poder judicial. También, durante seis cursos académicos, como Profesor No Numerario en la Universidad Politécnica de Madrid.

Cuando era alumno de Arquitectura y becario del CCUM tuve el privilegio de conocerles y de aprender y compartir tareas creativas con ambos. Por todo lo cual deseo manifestar mi afecto y el agradecimiento a la sinergia que aportaron en su amistad y en su labor.

El profesor Andrés Cristóbal, Técnico de Sistemas del CCUM, fue autor de diversas publicaciones sobre Teoría de Automatas. También impartía clases sobre esta materia en los cursos de Doctorado de la Universidad Politécnica. Yo fui alumno suyo. El enfoque sobre lo que en Inteligencia Artificial se conoce como Accesibilidad al Conocimiento, representado en la Clausura o Cierre Transitivo de un grafos, en nuestro caso relacionando las Actividades Domésticas o los Espacios Habitacionales, fue su innovadora aportación a este trabajo.

Carlos Sevilla, con una visión arquitectónica y un interés sociológico y humanístico, participó en la aplicación de estos procesos a un modelo arquitectónico de diseño del espacio habitacional. Yo compartiendo ambas cosas, colaboré en confeccionar y ejecutar los programas de representación informática de ese modelo de diseño arquitectónico.

En la actualidad el mayor interés del modelo sería la aplicación genérica del mismo procedimiento, antes transcrito, traspasando lo espacial a lo cognitivo. Esto sería útil para poder describir el acceso desde cualquiera de los conceptos incorporados a un grafos relacional de lo conocido al conocimiento de los demás conceptos. Todo ello es algo que ya se hace en Minería de Datos (Data Mining Business Intelligence).

Otra de las aportaciones de estas actividades, sugeridas de la aplicación, sería el detallar las métricas de la inteligencia y del conocimiento; especialmente aplicable a los Sistemas de Inteligencia Artificial (IA). ¿Podríamos valorar numéricamente y medir el conocimiento? Teniendo en cuenta que la palabra *cognos* deriva del griego *κόγχος* y significa «conocer», yo pienso que la unidad de medida del *cognos* sería un neologismo, que nos permita responder a la pregunta.

por Guillermo Searle

TEORIA DE LA ACCION EN EL DISEÑO ARQUITECTONICO
TRATAMIENTO AUTOMATICO DE UN EJEMPLO DE CONDUCTA

Por A. Cristóbal Llorente
G. Searle Hernández
C. Sevilla Corella

I.- El problema en arquitectura, o mejor, uno de los problemas consiste en acomodar "espacios" a las "necesidades" exigidas por un "funcionamiento" predeterminable.

Pero uno de los órganos -u organismos- que más funciona en Arquitectura, es el HOMBRE. La complejidad del hombre es enorme y su funcionamiento complicado. ¿Cómo acomodar los espacios adecuados? Sobre todo, cuando se dispone de poco tiempo para muchas elaboraciones.

El "funcionamiento" del hombre en los espacios arquitectónicos es lo que HACE, es cómo se CONDUCE y en relación a qué.

II.- Sea la CONDUCTA el "comportamiento" continuo observable del individuo, considerado, por el momento, como sistema capaz de actuar; es decir, como actor. Pero la observación, naturalmente, no es curiosa sino analítica y, por lo tanto, ordenada. Este orden señala, como punto de partida, que el individuo es actor, que acciona.

Sea la ACCION la conducta organizada en el medio ambiente. Entonces, conducta podría considerarse como una parte de la acción físicamente medible (actitudes, movimientos corporales, gastos de energía, ...) en el organismo del actor. Es así que la acción es el comportamiento continuo (conducta) organizado en el ambiente (medio discontinuo). Esta organización tiene, entre otras, la característica de acoplar una continuidad a la discontinuidad. Es decir, el organismo continuamente se sitúa.

Sea SITUACION la relación teórica existente entre el organismo y el ambiente. Mediante un proceso de abstracción, se deduciría de la situación las características y discretizaciones del ambiente, a las que llamamos objetos.

Sea AMBIENTE el conjunto de los objetos, en el cual el organismo se halla en actividad. Del organismo abstraemos aho-

ra, lo que llamábamos actor, considerándolo también como un sistema de orientaciones hacia la situación. Podríamos considerar entonces el ambiente como el conjunto de objetos de orientación. Estos objetos son:

- 1 - sociales
- 2 - no sociales (físicos o culturales)

La orientación supone una selección y elección de los objetos dentro de tres órdenes:

- 1 - Personalidad, en el cual existen tres categorías de orientación motivacional de un actor:
 - a) cognosción
 - b) catexia
 - c) evaluación
- 2 - Sistema cultural, con tres pautas que a veces son objeto de orientación a su vez y se internalizan:
 - a) sistema de ideas y creencias
 - b) sistema de símbolos expresivos
 - c) sistemas de órdenes de valor
- 3 - Sistema social, el orden que representa sistemas de personas interactuantes, y sistemas de problemas de interacción.

Es así que la orientación describe el estado del sistema actor - situación, en un momento dado. Es presumible entonces, que la actividad describa, en un momento dado, el sistema organismo-ambiente, es decir, el sistema relacionado en la situación.

Sea entonces actividad el principio de relación entre el actor y el ambiente. Esta relación podría ser como nexo de unión que da sentido o SINTAGMA, entre la conducta -comportamiento continuo observable- y el ambiente o conjunto de objetos de orientación. Se podría llamar entonces actividad a una acción, en una situación, con un sentido determinado.

Es así que una sucesión ordenada de actividades supone la acción, lógica, de un actor en un ambiente; supone un comportamiento continuo, lógico, en un ambiente; supone una conducta lógicamente ordenada en un ambiente determinado.

Sea entonces ORDEN el carácter lógico que se desprenda, en primera instancia, de los sentidos que cada acción en situación adquiera con la actividad determinada. Y, en segunda instancia, de la especulación lógico matemática que admita.

Pero una acción es un concepto abstracto que siempre implica relación. Si la situación está determinada por objetos de orientación sociales, o/y la orientación selecciona dentro de un orden de sistema social, la relación es interacción. En una situación dada, hay un cierto número de actores interactuando con ciertas características.

Sean características de interacción de tipo cultural. Todos los aspectos de la cultura son abstracciones en la actividad y se reúnen bajo principios de orden: la acción pautada. Ciertos órdenes o regularidades de la acción, tienen lugar en el seno de las instituciones culturales. Las situaciones se agrupan dentro de la institución, de acuerdo con la pauta de acción.

Según esto, en la descripción formal de las instituciones, la posición del individuo -un solo actor- constituiría un status. Cuando el individuo actúa dentro de ese status, se dice que ejecuta un rol, que "interpreta" su "papel" social.

En resumen, al arquitecto le interesa que:

- 1 - La conducta es medible en tiempo, espacio y energía (gasto).
- 2 - A) - Que en el ambiente hay una serie de objetos de orientación físicos, medibles en tiempo, espacio, energía y materia.

B) - Que en el ambiente hay una serie de objetos de orientación de orden personal (cognoscibles, catécticos, evaluativos), con características materiales, energéticas, espaciales y temporales definidas.

C) Que en el ambiente hay una serie de objetos de orientación de orden antropológico, convertidos en símbolos y formalizaciones restringibles a formas espaciales, materiales, energéticas y temporales.

D) Que en las organizaciones sociales existen órdenes de acción que determinan situaciones y roles individuales, reducibles a datos espacio-temporales y material-energéticos.
- 3 - Existen actividades que dan sentido a la conducta de un individuo o varios (medible) unida a objetos personal-cultural-sociales (medibles).

Es entonces cuando la acomodación entre problemas y soluciones arquitectónicas, una vez fijado el sentido de la frase, una vez determinada la actividad se reduce a la comparación, combinación y selección de simples medidas físicas.

Y no solo, sino que con las mismas frases se componen distintas obras, con las mismas actividades, diferentes conductas ambientadas. Y es aquí donde una labor auténticamente creadora, puede definir y predeterminar nuevas conductas y nuevos ambientes, e incluso nuevos sentidos de acción.

III.- Vamos a considerar una institución típica de nuestra sociedad: la familia. El signo básico antropológico es el Hogar. La materialización medible (arquitectónica) es la vivienda. La familia media española, dentro de unos márgenes relativamente reducidos, es una institución cultural con una clara pauta de acción, casi constante en un período de \pm 50 años. Y es así que las situaciones se agrupan con la misma claridad y constancia. No obstante, existen esos márgenes que son suficientes como para diversificar los tipos de viviendas.

Esos márgenes en buena medida, están influidos por el número de individuos y quizá, por algunas características especiales de alguno de ellos. En cualquier caso, la posición de cada individuo, dentro de la familia, constituye un status cuyo rol está determinado por la interacción -con los demás miembros- y la acción dentro de una serie de situaciones espaciotemporales y material-energéticas que constituyen la obra arquitectónica "vivienda". Es decir, el individuo realiza una serie de actividades en la vivienda familiar, que son acciones en situaciones cuyo sentido es el comúnmente aceptado en el lenguaje habitual.

En el CUADERNO 1 correspondiente a los cursos 68 al 70 editado en el Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, se publicaba una lista de unas 70 actividades del individuo en la vivienda, suficientemente justificada y con varias clasificaciones funcionales. Para un uso de ejemplo metodológico son excesivas y las hemos reducido y agrupado hasta contar con 15.

IV.- Sea en este ejemplo la actividad

$$A = \{a_i\} = \text{el conjunto}$$

$$i = 1, 2, \dots, 15$$

de actividades (en un proceso recursivo) que desarrolla un individuo a lo largo de un día.

Tipología de actividades

- 1 - Dormir
- 2 - Asearse
- 3 - Exonerar
- 4 - Sexualidad
- 5 - Vestirse

- 6 - Desayuno (C_1)
- 7 - Trabajo mañana
- 8 - Almuerzo (C_2)
- 9 - Trabajo tarde
- 10 - Merienda (C_3)
- 11 - Ocio
- 12 - Cena (C_4)
- 13 - Salir
- 14 - Entrar
- 15 - Limpieza, mantenimiento

Estas actividades, agrupadas en unas sucesiones ordenadas representan un ejemplo de conducta en una vivienda. El orden lo vamos a determinar con unos supuestos previos y mediante un algoritmo matemático.

Estos supuestos son:

- a) Que en el concepto de actividad están incluidas todas las fases que requiera (acondicionamiento, preparación, desplazamiento, etc.), de forma que el paso de una actividad a otra pueda ser inmediato.
- b) Que los caminos y transiciones entre actividades son independientes del tiempo.
- c) Que cada actividad se realiza una sola vez y que todas se realizan.
- d) Que del sentido de las actividades se pueden deducir unas relaciones de prelación que en principio vamos a fijar así:

```

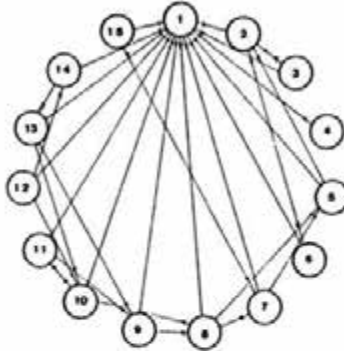
1 ↔ 4
1 → 2, 3, 5, ... 15
2 ↔ 3, 6
5 → 7, 8
7 ↔ 15
7 → 8
8 → 9, 10
9 → 11, 13
10 ↔ 11
10 → 12, 13
13 ↔ 14
14 → 12

```

En donde la relación \mathcal{R} significa:

- + "anterior a"
- ↔ "indiferente a"
- ↔ "inmediatamente anterior a"

Un conjunto A dotado de una relación \mathcal{R} es un grafos C
 $C = (A, \mathcal{R}A) ::$ "grafos de los órdenes de prelación"



La matriz asociada a este grafos es:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2			1		1	1									
3				1											
4					1										
5						1	1								
6							1								
7								1							1
8									1	1					
9											1	1			
10												1	1		
11													1		
12														1	
13															1
14															
15									1						

MATRIZ DE ENTRADA

Siendo I la matriz unidad:

$$I = (\delta_{ij})$$

Obtendremos la matriz M sin más que sumar I y C

$$M = I + C \quad , , \quad \text{o sea:}$$

$$\{m_{ij}\} = \{\delta_{ij} + c_{ij}\}$$

Multipliquemos ahora M por M con la condición de que la suma de los productos parciales sea booleana:

$$\begin{aligned} 1 + 1 &= 1 \\ 1 + 0 &= 1 \\ 0 + 1 &= 1 \\ 0 + 0 &= 0 \end{aligned}$$

Llamemos M^2 a la matriz así obtenida:

$$M^2 = M \times M$$

El algoritmo de esta multiplicación será

$$m_{ij}^2 = \sum_{k=1}^{15} m_{ik} \cdot m_{kj} \quad \text{donde} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, 15 \\ j = 1, 2, \dots, 15 \\ k = 1, 2, \dots, 15 \end{cases}$$

Si procedemos a multiplicar de nuevo M^2 por M con idéntico criterio, obtendremos M^3 :

$$M^3 = M^2 \times M$$

donde ahora el mismo algoritmo de la multiplicación será:

$$m_{ij}^3 = \sum_{k=1}^{15} m_{ik}^2 \cdot m_{kj} \quad \text{donde} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, 15 \\ j = 1, 2, \dots, 15 \\ k = 1, 2, \dots, 15 \end{cases}$$

Continuando este mismo proceso reiteradas veces, llegaremos a obtener una matriz M^{n+1} , tal que:

$$M^{n+1} = M^n \times M \quad \text{y donde además:}$$

$$M^{n+1} = M^n$$

Al llegar a este punto paramos el proceso y mediante trasposición de filas y columnas, obtenemos una forma canónica de M^n , en la que se han ordenado sus líneas de tal manera, que están más a la derecha las que tienen mayor la suma aritmética de sus elementos.


```

33 FORMAT(6X,4013)
   IZ=NUMACT+3
   I4=IC(2)
   DO 4 I1=4,12,1
     IF(1C(I1))5,93,5
   5 I3=IC(I1)
   4 MATRIZ(I4,I3,1)=1
93 IF(1C(I3))-213,6,3
   6 DO 7 I5=4,12
     IF(1C(I5))8,3,8
   8 I8=IC(I5)
     MATRIZ(I4,I8,1)=1
   7 CONTINUE
   3 CONTINUE
C*****
C PRODUCTO DE MATRICES, SUMAS BOOLEANAS
C*****
   DO 90 I2=1,37
   90 MATRIZ(I20,I20,1)=1
   DO 1015 I11=1,37
   DO 15 I12=1,37
     MATRIZ(I11,I12,3)=0
   15 MATRIZ(I11,I12,2)=MATRIZ(I11,I12,1)
1C15 CONTINUE
   14 IOL=0
   DO 1010 I6=1,NUMACT
   DO 110 I7=1,NUMACT
   DO 10 I8=1,NUMACT
     IF(MATRIZ(I6,I8,1).EQ.0.OR.MATRIZ(I8,I7,2).EQ.0)GO TO 10
   9 MATRIZ(I6,I7,3)=1
     IF(MATRIZ(I6,I7,2).NE.MATRIZ(I6,I7,3))IOL=1
   10 CONTINUE
   110 CONTINUE
1C10 CONTINUE
C*****
C SALIDA DE MATRICES PARCIALES
C*****
   WRITE(6,102)
   102 FORMAT(1H1)
   DO 101 MW=1,NUMACT
     WRITE(6,100)(MATRIZ(MW,MV,2),MV=1,NUMACT)
   101 CONTINUE
   100 FORMAT(11X,37F3)
C*****
C DECISION DE VOLVER AL PRODUCTO O DE CONTINUAR
C*****
   IF(IOL)12,11,12
   DO 1013 I9=1,NUMACT
   DO 13 I11=1,NUMACT
     MATRIZ(I9,I11,2)=MATRIZ(I9,I10,3)
   13 MATRIZ(I9,I10,3)=0
1C13 CONTINUE
   GO TO 14
C*****
C OBTENCION DE UNA FORMA CANONICA
C*****
   DO 79 I10=1,2
   DO 300 I47=1,NUMACT
   300 MIK(I47,1)=0
   DO 1 73 IK=1,NUMACT
   DO 73 I11=1,NUMACT
     IF(I10-1)302,303,302
   302 IF(MATRIZ(I11,IK,2))74,73,74
   303 IF(MATRIZ(IK,I11,2))74,73,74
   74 MIK(IK,1)=MIK(IK,1)+1
   73 CONTINUE
1073 CONTINUE
   DO 1079 I0=1,NUMACT
   DO 78 I11=1,NUMACT
     IF(MIK(I11,1))305,78,305
   305 DO 77 I11=1,NUMACT
     IF(MIK(I11,1).LT.MIK(I11,1))GO TO 78
   77 CONTINUE
     IF(I10-1)401,401,400

```

46

```

401 MIK(I,2)=IP
GO TO 4.2
400 IBB=NUMACT+1-IB
MIK(I,3)=IP
402 MIK(IP,1)=C
GO TO 1.79
78 CONTINUE
1079 CONTINUE
79 CONTINUE
DO 1700 JJ=1,NUMACT
M2=MIK(JJ,3)
DO 700 II=1,NUMACT
M1=MIK(II,2)
700 MATRIZ(II,JJ,3)=MATRIZ(M1,M2,2)
1700 CONTINUE
C*****
C SALIDA DE RESULTADOS.
C*****
WRITE(6,*) (MIK(I,3), I=1,NUMACT)
81 FORMAT(1H1/////////12X,3713)
DO 8. MM=1,NUMACT
WRITE(6,M2 MIK(MM,2), (MATRIZ(MM,M4,3), M4=1,MM)
80 CONTINUE
82 FORMAT(1H0//X,13,1X,3713)
WRITE(6,5.0)
500 FORMAT(1H1)
STOP
END

```

VI.- El proceso anterior mediante un algoritmo matemático ha establecido un orden parcial en el conjunto A de las actividades.

Este orden lleva consigo que del conjunto de cadenas, que por combinatoria se podrían haber generado antes del proceso, y cuyo número, en nuestro ejemplo ideal, era de: $15 = 1_2 307.674_1 368.000$ han sido seleccionadas solamente 48.

Esta selección es el supuesto de la existencia de criterios, que, en función de normas establecidas para el status (la situación) del actor por los sistemas cultural, social, artificial y natural, son conocidas por nosotros, que las aplicamos.

Lo que ya es más difícil de conocer a priori son las normas personales que orientan al actor, cuando elige en cada situación una actividad concreta y, por tanto, cuando dentro de sus posibilidades de elección (48 cadenas en nuestro ejemplo) se decide por una cadena determinada.

Una solución a este problema es un programa modelo que tenga la posibilidad de aprender y olvidar la conducta real, mutable y en cierta medida aleatoria, que desarrolla el actor.

A este fin se orienta el programa que exponemos a continuación.

VII.- "Modelo de conducta -02" (MOCO-02).

```
INTEGER E(3),M(4)
L1=9
ME=5
DO 2 I=1,4
2 M(I)=0
11 READ(5,111)(L1,L=1,3),IFIN
1 FORMAT(3I2,73X,1)
IF(IIFIN-1113,14,13)
13 K=1
DO 4 I=1,2
4 K=E(I)*2**(2-I)+K
IF(I(3))5,6,7
7 M(K)=M(K)+1
IF(M(K)-L1)8,9
9 M(K)=L1
8 WRITE(6,10)(I1,E(2))
10 FORMAT(10X,2I3,5X,2H 1,5X,8H =VERDAD)
GO TO 12
6 IF(M(K)-ME)15,8,8
3 M(K)=M(K)-1
IF(M(K))16,15,15
16 M(K)=0
15 WRITE(6,12)(I1,E(2))
12 FORMAT(10X,2I3,5X,2H 0,5X,7H =FALSO)
GO TO 11
14 STOP
END...
```

8.4. El ordenador bien temperado. Publicado en el Boletín número 16 de junio de 1971

Autor: **Eduardo Polonio**. Profesor de Composición por el Real Conservatorio de Música de Madrid desde 1968, estudió piano, armonía, contrapunto y composición. Formado entre otros países en Alemania, Bélgica, Holanda y Francia. Ha formado parte de grupos pioneros como Koan, Laboratorio Alea, Phonos, Obert Art Actual o Multimúsica. Forma parte de la Asociación de Música Electrónica Española, que presidió, y de la Academia Internacional de Música Electrónica. En 1994 obtuvo el prestigioso título *Magisterium* del Gran Premio Internacional de Música Electroacústica (IMEB) de Bourges.

Comentario a *El ordenador bien temperado*

La relectura de este artículo escrito hace cincuenta años me trae recuerdos entrañables de aquella época en la que varios grupos de artistas de diferentes disciplinas se reunían alrededor de aquel mastodónico IBM 7090 para intentar sacar provecho de la tecnología en beneficio del arte. Nada nuevo. Tecnología era, allá por el 1700, el pianoforte de Bartolomeo Cristofori; arte el de Beethoven, Chopin y un kilométrico etcétera. Luego también está lo lúdico. «Jugando» se descubrió como obtener sonidos de los materiales más diversos, y así nacieron los cordófonos, aerófonos, idiófonos, y mebranófonos de las culturas ancestrales, origen, por otra parte, de todos los instrumentos históricos hasta el advenimiento de la electricidad. «Jugando» (*jouer* en francés, *play* en inglés) seguimos manipulando los sonidos de esos instrumentos, «combinándolos» como dice esa tradicional definición de música, bien es verdad que, para rematar su tradicionalismo, añade los conceptos de melodía, armonía y ritmo, que bien poco nos dicen al tratarse de elementos puramente culturales. Mas lo que cuenta no es solo lo lúdico sino, me atrevería a decir, lo «mágico». La magia es lo que comunica lo burdo con lo sutil. La magia es lo que hace que un trozo de madera golpeando mecánicamente una cuerda pueda removernos las entrañas (*emovere, emotus, emotio*), «emocionarnos». Pero volvamos al juego. Jugando, unos técnicos de IBM habían escrito un programa que al leer la tarjetas perforadas e imprimir los cientos y cientos de líneas de código sobre papel en aquella monumental impresora, ésta (más bien el movimiento de las cabezas) «tocara» el *Himno a la alegría* de la novena de Beethoven. ¡Esto era el hit del parque de atracciones de la IBM! Mi juego, y pienso que lo era también el de los restantes participantes en el seminario,

era ir un poco más allá. En mi caso era hurgar en las entrañas de la máquina en busca de generar sonidos, que forzosamente habrían de ser electrónicos, aunque de momento su articulación estuviera muy lejos de nuestro alcance. Naturalmente, otros tomaron diferentes derroteros. En mi caso, llevaba ya varios años practicando la música electrónica, jugando a combinar sonidos que tenían la dificultad añadida de que no existían, como en los instrumentos acústicos tradicionales, sino que «había que inventarlos». No sacarlos a la nada sino de unos recursos tecnológicos muy rudimentarios. En definitiva, lo lúdico se transformaba en lucha. Lucha del ingenio contra los elementos. Y la resultante era la magia. En este «qué se puede hacer con lo que hay» me topé con *bits* y cinta magnética (por cierto material familiar en el estudio de música electrónica). Y en base a ello desarrollé la metodología expuesta en el artículo. Es evidente que su título es un homenaje a J. S. Bach. Él jugó, y apostó fuerte. Para introducir un orden en el caos de los múltiples sistemas de afinación al uso a la sazón, creó la afinación logarítmica y con ello hizo posible el desarrollo de toda la música occidental posterior. Y termino con la parte anecdótica, y lúdica a más no poder. Para poder escuchar las melodías generadas teníamos que cortar con unas tijeras, longitudinalmente, la cinta magnética de una pulgada en dos de media pulgada, y ésta en otras dos de un cuarto de pulgada. Después había que transportar primero una octava y luego otra octava más grave en nuestros magnetofones para que sonara. ¡Y sonaba!

por Eduardo Polonio, 2019

SEMINARIO DE MUSICA

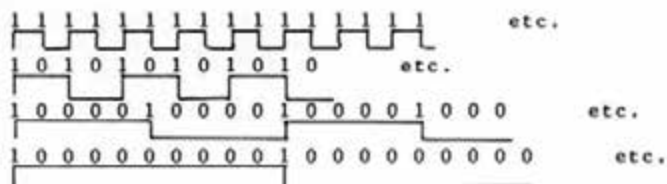
Participantes: Gonzalo Arnaiz, Fernando Arribas, Florentino Briones, Violeta Demonte, Julio Montero, Luis de Pablo, Eduardo Polonio, Víctor Sánchez de Zava-la, Horacio Vaggiones.

EL ORDENADOR BIEN TEMPERADO

Por Eduardo Polonio

Aquí voy a tratar sobre la afinación musical del ordenador. Pero antes explicaré un poco de qué manera se produce la síntesis del sonido en el mismo. Los bits o unidades de información son almacenados con una gran densidad sobre una cinta magnética, similar a las de uso normal en los magnetofones, de una de las unidades de memoria del ordenador. Estas unidades de información se mueven a nivel de dos posibilidades: a) un cambio del sentido de magnetización en la cinta y b) ningún cambio, es decir continuación del mismo sentido. Esto en sistema binario se representa por un uno y un cero respectivamente.

La gran densidad de grabación de bits en la cinta, 556 por pulgada, hace suponer, como así es, que una distribución de cambios y no cambios de magnetización, esto es de unos y ceros, hecha con una cierta periodicidad generaría una onda cuadrada. Suponiendo que un uno es una subida si se estaba abajo o una bajada si se estaba arriba y que un cero es continuar en el mismo lugar, podemos codificar así una onda cuadrada:



Una sucesión de unos (11111111...) leída a una velocidad de 7,5 pulgadas por segundo nos dará una frecuencia de 556 · 7,5 = 4.170 ciclos por segundo.

A medida que vayamos espaciando los unos, haciendo seguir a cada uno una cantidad constante de ceros, el número de cam-bios por segundo será menor y la frecuencia por tanto disminuirá.

Vamos a llamar semi-período al número de bits que incluye el uno seguido de sus correspondientes ceros hasta la aparición de un nuevo uno.

- Período 1 : 1
- Período 2 : 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0
- Período 5 : 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0
- Período 11: 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Al aumentar el período disminuye la frecuencia. Así a un período doble corresponde una frecuencia de la mitad. Si programamos una serie creciente de períodos a partir de uno obtendremos las siguientes frecuencias:



Si observamos atentamente vemos que se trata de la sucesión de los armónicos naturales pero "invertida":

Handwritten musical score for guitar, showing 32 frets. The score is written on six staves. The first staff is a treble clef with a key signature of one flat (Bb). The second and third staves are also treble clefs. The fourth and fifth staves are bass clefs. The sixth staff is labeled "5ª baja". The score includes various accidentals and annotations such as "(a.-)", "(a.++)", "(a.++)⁽¹⁾", "(a.-)", "(+)", "(-)", and "(a.-)". A double bar line is present after fret 16. At the bottom, there is a line with "24" on the left, "64" in the middle, and "75" on the right, with the word "Sovinos" written below the line.

- (1) + , una coma más alto
 ++ , dos comas más alto
 - , una coma más bajo
 -- , dos comas más bajo
 1/4+ , un cuarto de tono bajo
 1/4- , un cuarto de tono alto

42

Compárese la simetría interválica de ambas series hasta el armónico 11:

The image displays two musical staves illustrating harmonic series. The top staff shows a series of notes with intervals labeled 1st, 2nd, 3rd, 4th, 5th, 6th, 7th, 8th, 9th, 10th, 11th. The bottom staff shows a similar series with intervals labeled 1st, 2nd, 3rd, 4th, 5th, 6th, 7th, 8th, 9th, 10th, 11th. Both staves include annotations such as (ra. +), (-), and (ra. -) indicating specific interval relationships.

Una serie de este tipo no se encuentra en la naturaleza, salvo si tuviéramos en cuenta la teoría de los armónicos inferiores, y podemos decir que es propia al procedimiento utilizado aquí. Ciertas relaciones simples, como la octava, la quinta o la cuarta, son similares a las de la escala natural, pero el resto, debido a la simetría del sistema, no tiene nada que ver con aquélla.

Como en la serie natural de armónicos, pero siempre a la inversa, a medida que vamos descendiendo hacia el grave va aumentando el número de sonidos contenidos en una octava (en la serie natural esto se produce, como corresponde, hacia el agudo).

Al suponer la duplicación del período la división por 2 de la frecuencia, esto es bajar una octava la nota, los períodos 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, etc. corresponderán a una serie descendente de octavas, en la cual cada período nuevo de la serie representa una frecuencia octava grave del anterior:



Así pues mientras la octava cero no cuenta con ningún sonido intermedio y la octava uno con un sonido (el período 3), la octava seis tiene 63 y la siete 127:

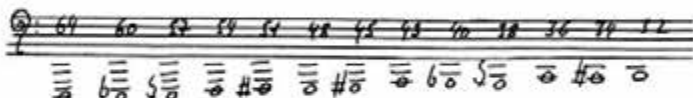
OCTAVA CERO	
UNO	
DOS	
TRES	
CUATRO	
CINCO	
SEIS	
SIETE	

44

De esto se desprende que cuanto más descendamos hacia lo grave más extenso es el muestrario de sonidos y más fácil por tanto elegir frecuencias que guarden relaciones cercanas a las de escala natural. Por ejemplo la relación 64/45 (cuarta aumentada) imposible de obtener, si no es por aproximación, en otras octavas, es fácilmente obtenible en la octava seis (del 64 al 128).

Esto significa que para obtener una escala medianamente afinada nos tenemos que mover en las octavas cinco, seis, siete, esto es, en los límites de lo inaudible.

En la octava cinco, por ejemplo, tenemos una afinación aceptable utilizando los siguientes períodos:



Aun utilizando el procedimiento del doble uno inicial:

Período 7: 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 etc.

Período 4: 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 etc.

que hace subir todos los sonidos una octava, esta tesitura es muy grave y limita las posibilidades.

Una manera de aliviar este inconveniente sería aumentar la velocidad de lectura de la cinta. Si en lugar de leerla a 7,5 pulgadas por segundo lo hacemos a 75, que es la velocidad de la propia unidad de cinta donde se graba el sonido, todas las relaciones quedan multiplicadas por 10. En lugar de leer 4170 bits por segundo podremos leer 41.700 con lo cual la tesitura queda considerablemente ampliada y hasta se puede intentar una afinación muy cercana a la temperada.

El número de bits por período para obtener el "1a" del diapasón nos vendrá dado por

$$\text{Período (1a)} = \frac{41.700}{440} = 94 \text{ (aproximadamente)}$$

Para calcular la escala cromática temperada basta multiplicar una frecuencia x por $\sqrt[12]{2} = 1,05946$ obteniendo así la frecuencia de la nota situada un semitono más arriba. Así si

$$\begin{aligned} \text{"la"} &= 440 \\ \text{"si bemol"} &= 440 \cdot 1,05946 \\ \text{"si"} &= 440 \cdot (1,05946)^2 \\ \text{"do"} &= 440 \cdot (1,05946)^3 \quad \text{etc.} \end{aligned}$$

El período de "si bemol" será:

$$\text{Período (si bemol)} = \frac{41700}{440 \cdot 1,05946}$$

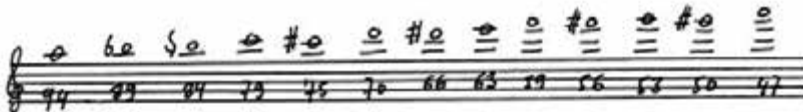
$$\text{como } \frac{41700}{440} = 94$$

$$\text{Período (si bemol)} = 94 \cdot \frac{1}{1,05946}$$

$$\text{Período (si)} = 94 \cdot \frac{1}{(1,05946)^2}$$

etc.

De esta manera, y con el doble uno, obtenemos la siguiente escala con períodos situados entre 94 y 47:



46

Para obtener las octavas más graves basta multiplicar por 2, 4, 8, 16, etc. cada período, esto es por 2^1 , 2^2 , 2^3 , 2^4 , etc.



Estas son, por ahora, las limitaciones que en cuanto a afinación vienen dadas por la velocidad de la unidad de cinta. Aun siendo rápidas, las salidas de orden mecánico son lentas en comparación con la velocidad de cálculo del ordenador. Es posible que, en un futuro próximo, la señal pueda ser extraída directamente del acumulador, lo que permitiría obtener todas las frecuencias posibles y cualquier tipo de afinación y de temperamento.

9. ¿Qué sucedió en el Centro de Cálculo entre 1968 y 1973?

El Centro de Cálculo se creó en 1968 en la Universidad de Madrid en función de una de las estipulaciones del contrato de cesión de la máquina IBM 7090 por parte de la corporación IBM a la universidad. Era una de las condiciones que la compañía americana ponía a cada una de las entidades a las que cedía una supercomputadora: la creación de un centro dedicado a la gestión de la máquina pero también a la formación de profesionales de la informática que nutriesen la creciente demanda, y también la investigación en nuevas aplicaciones de la computación.

Estas tres eran las funciones que debía desempeñar, y que de facto desarrolló el Centro, la mayor parte del tiempo de la máquina se dedicó a estas labores y en un pequeño porcentaje se crearon obras: arquitectónicas, artísticas o musicales. Sí, se materializó obra y pensamiento, y se hizo con una metodología nueva en su momento, se utilizó la computación o informática en la creación.

De cómo sucedió este pequeño trasvase, y cómo fue posible que la simple presencia de una máquina contribuyese a catalizar las energías creativas de algunos profesores, estudiantes, artistas e investigadores surgen preguntas como: ¿qué despertó el interés de personas de tan diferente origen hacia el interrogante de qué era lo que podía hacer una máquina para ayudar a la creación?

En aquellos momentos lo importante para algunos de los creadores que se acercaron a la experiencia y experimentación que allí se daba era que todo lo que salía del Centro de Cálculo estaba tocado por el sello «computacional». Las cosas que allí se generaban eran como milagros marianos, eran cosas a situar en el plano de lo trascendente, tenían una dimensión chamánico-informática. Con el tiempo ese carácter se perdió con la vulgarización del uso de los ordenadores (con la vulgarización no en el sentido banalización o adonación sino que se amplió el horizonte de uso de la informática hasta llegar a

ser un cotidianidad más, y pasar a ser los ordenadores electrodomésticos de uso diario).

La fotografía fue la primera de las técnicas en la que se trasladaba la realidad a una imagen sin la pericia de la mano humana, con inmediatez, con la utilización de las posibilidades de la química y la física, no con la utilización del cerebro ni las manos de un humano, sino con una tecnología de la que no todos podían entender el funcionamiento. Muchas personas no querían ser fotografiados porque pensaban que se les robaba con la imagen parte de su alma, y a comienzos del siglo XX se hizo habitual fotografiar muertos, cuerpos sin alma, este carácter que va de lo inmanente a lo trascendente es lo que un *influencer* de hoy entiende y le sirve para triunfar, pero ya pocas personas hoy en día entienden la fotografía como algo simbólico.

En lo simbólico se movía la máquina la IBM 7090, su presencia en un edificio construido para albergarla, un templo laico y posmoderno para una máquina / tótem, en una zona fría artificialmente, aislada del humano, en el ara tecnológico acondicionado para contenerla, donde los usuarios no penetran, solo los ingenieros, los físicos, matemáticos o técnicos, solo los sacerdotes de la computación podían presentarse ante aquel ente tecnológico. Ese escenario contribuyó a que muchos se plantearan muchos interrogantes sobre sus propios procesos de creación.

Unos años antes se le mostró al gran público las posibles consecuencias del desarrollo tecnológico, la supercomputadora, una creación humana, puede sobreponerse a lo humano y superarlo. Es *Hal 9000*, acrónimo de *Heuristically Programmed Algorithmic Computer* (Computador algorítmico programado heurísticamente), la protagonista cibernética de la película de Stanley Kubrick, *2001: una odisea en el espacio* de 1962, que toma conciencia propia, que lucha con el humano hasta la aniquilación. Solo unos años antes que la supercomputadora del Centro de Cálculo se pusiera en marcha, en el subconsciente colectivo se había sembrado la semilla del miedo a lo computacional, las máquinas podían suplantar a lo humano.

Si pensamos en algunas de las cualidades de lo humano que nos caracterizan: la creación, pasar de la idea al objeto, el arte, la música, el lenguaje, la abstracción, todo ello se utilizó en el Centro de Cálculo, todo ello formó parte de lo que les interesó a los participantes de los seminarios, incluso diría que a los becarios de proyectos de investigación y algunos de los científicos que utilizaron la máquina para simplificar los cálculos numéricos de sus investigaciones. Hubo una circunstancia que marcó el devenir de la creatividad allí, el proyecto de creación de un Estetómetro, una máquina de medir lo bello.

Basada en la creación de una unidad de medida, el esteto, que estaba definida en función de conceptos como la armonía, el equilibrio, la simetría y otras características de lo bello apoyadas en las relaciones matemáticas significadas en la proporción áurea, en aquel número que los pitagóricos cargaban de simbología mágica.

Cuando en el Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas se planteó la necesidad de que el ordenador filtrara las salidas o posibles soluciones a lo que se le planteaba a partir de proyectos de combinatoria o de series numéricas, se trataba de enseñar a la máquina que no todas las posibles respuestas que proporcionaba un algoritmo eran estéticamente aceptables. Había que crear un estetómetro que midiera la belleza como lo haría un humano, pero a la velocidad de una computadora, reducir millones de posibilidades a una sola, la más bella. Esto asustó a Manuel Barbadillo, su propuesta de pintura modular avanzaba muy rápidamente, la máquina comenzó a dar salidas impresas que podrían ser Barbadillos, y abandonó el Seminario. Entonces algunos creadores se plantearon cuál debería ser en estas circunstancias el papel del artista, se plantearon también quién era el autor, y también qué componía la obra, ¿solo el resultado final, o también el estudio previo?

Cuando se iniciaron los Seminarios se trataba de discernir en qué podía una máquina auxiliar a un investigador o creador, qué haría la máquina y que haría el humano, se trataba de entender cómo quedaría la creación a partir de que la genialidad, la pericia manual e intelectual estuvieran auxiliadas por las características técnicas de nuevos artefactos.

En uno de los principales seminarios del Centro, el de Lingüística Matemática, nunca se utilizó la computadora, nunca se planteó un proyecto que se analizara, se programara, compilara y se llevara a la máquina para su implementación. Los participantes en él se plantearon las posibilidades que se derivaban de la oportunidad de la utilización de la potencialidad del lenguaje matemático articulado por máquinas. Dos de los participantes más activos del mismo: Violeta Demonte y Carlos Piera, no refieren como logros del seminario nada que saliera de la computadora, lo importante de ella era simplemente su presencia, el estímulo intelectual que suponía, nadie aprendió lenguaje máquina, ni lenguajes de programación, ni les interesó la máquina más que como un referente.

En música se pensó que las máquinas podrían, o bien componer, o bien interpretar, o hacerlo todo, aunque las capacidades de los ordenadores de esos años no permitían hacer ni fácilmente, ni bien, ninguna de las dos, pero en el Seminario de Música se pensó sobre todo ello, y más. La presencia de un ins-

trumento nuevo fue motivo suficiente para unir a músicos, y también para que se interesaran en la música filósofos y lingüistas, o físicos y matemáticos. Y además se ampliaron horizontes, lo que sucedía en cualquier parte del mundo era posible que sucediera aquí, había una sed de conocimiento y experimentación renovadas por la presencia de aquellos nuevos aparatos que si bien aún no podían era posible que pudieran pensar.

En el Seminario de Arquitectura se colmataron pronto las expectativas, el uso del ordenador no permitía crear automáticamente diseños de viviendas felices, ni el análisis del concepto de espacio. Se intentó crear modelos de generación biológica o utilizar la psicología en la creación, pero la técnica fue a auxiliar a la arquitectura en otro aspecto: les permitió calcular estructuras y dibujar proyectos, les auxilió en el ingenio y en el diseño, pronto surgieron programas comerciales que les permitieron crear planos con mayor facilidad, la evolución resultó más pragmática de lo esperado.

Como en otras muchas experiencias de excelencia siempre se intenta encontrar el motivo por el que estas se acaban, parece obligación de cualquier investigación dar las razones del fin de aquello. Pero buscar entre lo plausible y lo inconcebible no aporta más. Fue interesante y brillante, permitió ver cómo se transitaba de la potencia al acto, qué llegó y cómo, quién quiso hacer e hizo, cómo se organizó el pensamiento y la práctica, qué mecanismos de exégesis se utilizaron, qué medios se pusieron al servicio y con todo esto se hace una cartografía del Centro de Cálculo.

10. Epílogo y reflexión

En 1974 el Centro de Cálculo inicia una nueva etapa en la que el símbolo alrededor del que orbitan las actividades ya no es la máquina IBM 7090. La experimentación ha acabado, no en el sentido científico ni metodológico, sino como actitud tanto de los participantes en las nuevas actividades como de los responsables de la gestión y de los aspectos académicos.

Es en este momento cuando se plantea la sustitución de la computadora origen de todo el proceso por otra, la IBM Serie 360. Esta ya no tenía el epíteto de supercomputadora, era un ordenador mucho más asequible económicamente, sin unos condicionantes de instalación tan rigurosos, que obtuvo un éxito de ventas muy considerable en Europa como en todo el mundo, de forma que aparece ya no solo en espacios de investigación científica o en grandes corporaciones, sino que es adquirida por empresas de tamaño medio, por entidades administrativas y, sobre todo, sus funciones están más definidas; contaba con una biblioteca de programación amplia, y lo que se esperaba de su implantación ya no era motivo de elucubración filosófica. Con estas nuevas máquinas se podía hacer arte, música o poesía, pero no eran adquiridas por este potencial, sino que se dedicaban a la organización empresarial y a tareas preferentemente contables y administrativas. Su uso se generaliza, no estamos aún en la fase del ordenador personal, pero la instalación de una de estas computadoras no es un evento similar a lo que sucedió seis años antes. Lo que ahora se necesita no es tanto aprender qué se puede hacer con estas máquinas sino formar personal para su utilización, se ha pasado de un estadio en el que había en toda España no más de unas pocas decenas de ordenadores a otro en el que hay miles de ellos repartidos por todas las ciudades importantes.

Esto plantea a la universidad española la necesidad de diseñar una nueva especialidad específica: Informática. Ya no bastan unas asignaturas en diferentes carreras científicas que preparen a los alumnos de física o matemáticas para el uso habitual de ordenadores en sus respectivas áreas de conocimiento, sino que se trataría de formar especialistas en el uso, diseño e investigación de máquinas que ya no solo ejecutaran cálculo de forma automática, sino que

auxiliaran cada vez más en diferentes aspectos de la producción humana. Y en la Universidad Complutense de Madrid, el Centro de Cálculo participa muy activamente en el diseño tanto curricular como de organización de esta nueva enseñanza reglada.

En 1973 se abandonó el esquema participativo en forma de seminarios donde la información y la formación discurrían horizontalmente. En los Boletines, que siguieron publicándose hasta el cambio de denominación del Centro en 1982, ya no aparecían los seminarios. En su lugar proliferaron muchos cursos especializados cuya temática habitual era: Teoría del lenguaje, programación, lingüística computacional; Informática y planificación; Biblioteca de programas; Lenguajes de programación: Algol, Apl, Cobol Ans, Fortran VI, Pascal, Prolog; Jeudemo en la lingüística computacional.

Sin embargo, el Centro de Cálculo siguió siendo invitado a numerosos congresos o coloquios en los que se le pide dar noticia de aquel momento en el que experimentaban con nuevas formas artísticas o musicales. El prestigio del Centro se ha basado siempre en lo sucedido en esa fracción de tiempo en la que los participantes de los seminarios se interrogaron por las posibilidades de que la creación humana estuviera auxiliada por máquinas creadas por humanos para que les auxiliaran, máquinas que en algún momento serían capaces de diferenciar lo bello, o de aplicar conceptos psicológicos a la construcción de viviendas o de entender como funcionaba el lenguaje tanto en la relación humano – humano como humano – máquina.

La marcha de Florentino Briones de la dirección del Centro dejó a Ernesto García Camarero al frente, lo que trajo consigo una dinámica diferente. El nivel de excelencia de lo allí producido no sufrió merma, pero sí la dirección en la que se movieron los esfuerzos. García Camarero es un relevante historiador de la ciencia española, su interés en los primeros años pasó de organizar los seminarios y las actividades temporales del Centro hacia la implantación de la Informática en las enseñanzas secundarias, creó y dirigió un seminario a tal efecto en el que consiguió incorporar a un número importante de docentes de todo el país, se organizaron congresos y numerosas actividades con niños de todo el estado español, se publicaron monografías y se implementó un programa de autoaprendizaje. De ahí que fuera el director idóneo para llevar a cabo la encomienda por parte del rector de la universidad de resituar al Centro de Cálculo dentro de una dinámica puramente universitaria, dándole al mismo un carácter de departamento de servicios auxiliares a la investigación científica; de promotor del aprendizaje de técnicas informáticas más complejas; de fomentar el uso de los ordenadores en diferentes aspectos de la

organización universitaria como fue, por ejemplo, la creación de programas de gestión bibliográfica; y de tener un papel esencial en el diseño de los contenidos de la nueva carrera y posterior Facultad de Informática. La incorporación de la Informática en la universidad española se hace en relativamente poco tiempo, y no solo se crea una nueva facultad, sino que en otras áreas de conocimiento se incorpora como herramienta de creación y como técnica auxiliar, tanto en ingenierías como en Bellas Artes, donde Alexanco fue profesor de una asignatura que enseñaba a los artistas el uso del ordenador como elemento inherente a la práctica artística.

A partir de estos años la utilización de los ordenadores deja de tener un halo de misterio y chamanismo, deja de ser un símbolo de lo nuevo, de lo que está por venir para ser considerada una técnica del presente, una nueva forma de afrontar la producción en todos los ámbitos. En un momento dado hubo de acuñarse los términos macroinformática y microinformática para diferenciar su uso. Más adelante, con la irrupción de Internet en la cotidianeidad los nuevos usos y costumbres se ven arrollados por las nuevas capacidades de las máquinas, nos acostumbramos a términos como Big Data, Redes sociales o Inteligencia artificial, y de nuevo los ordenadores vuelven a ser inasequibles conceptualmente a la escala del individuo, controlan desde no sabemos donde, desaparecen de la vista y están omnipresentes.

La experiencia de los seminarios del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid sirvió para saber qué hacer con las nuevas máquinas y el uso que se les pretendió dar fue excepcional: pensaron que la función principal de las computadoras era el de auxiliar a la creación y servir como instrumento para el desarrollo de las capacidades de producir conocimiento y arte.

Bibliografía

- Bense, M. (1973). *Introducción a la estética teórico-informacional*. Madrid: Editorial Alberto Corazón.
- ____ (1973b). *Estética, consideraciones metafísicas sobre lo bello*. Buenos Aires: Editorial Nueva Visión.
- Brea, J.L. (2007). «Cambio de régimen escópico: del inconsciente óptico a la e-image» *Revista de Estudios visuales* (4) 146-163
- Carrillo Santana, J.R. (2007). *Influencia de la estética en los objetos virtuales*. (Tesis doctoral). Barcelona: Universidad de Barcelona. Obtenida de http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/35644/1/JRCS_TESIS.pdf
- Castañes Alés, E. (2000). *Los orígenes del arte cibernético en España, el Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas* (Tesis doctoral). Málaga: Universidad de Málaga. Obtenida de <http://www.cervantesvirtual.com/descargaPdf/los-origenes-del-arte-cibernetico-en-espana-el-seminario-de-generacion-automatica-de-formas-plasticas-del-centro-de-calculo-de-la-universidad-de-madrid-19681973--0/>
- Centro de Cálculo⁶⁷, (1968). *El Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, Memoria 1968*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.
- ____ (1968b). *Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid. Becas, cursos, usuarios*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.
- ____ (1969) *Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid. Noviembre 1968 – Julio 1969. Memoria*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid
- ____ (1969b) *Formas computables – Catálogo*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.
- ____ (1969c) *Ordenadores en el arte – SGAFP*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.
- ____ (1969d) *Western European Symposium on Computer Education (Londres 25-27 marzo 1969). Mayo 1969*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid
- ____ (1970) *Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid. Agosto*

⁶⁷ Las publicaciones del Centro de Cálculo eran escritas fundamentalmente por Florentino Briones, Ernesto García Camarero o Mario Fernández Barberá, pero también por Isidro Ramos o cualquier otro componente del equipo. En ocasiones los textos están identificados, en especial las presentaciones o introducciones, pero el grueso de los textos e informaciones no. Por lo que se opta por atribuir la autoría de las publicaciones al Centro de Cálculo mancomunadamente.

- 1969 – Julio 1970. *Memoria*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.
- ____ (1970b) *Generación Automáticas de Formas Plásticas – Catálogo*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.
- ____ (1970c) *L'Ordinateur et la créativité. Architecture – peinture*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.
- ____ (1971) *Formas computadas – Catálogo*. Madrid: Publicaciones Españolas.
- ____ (1971b) *The Computer Assisted Art – Catálogo*. Madrid: IBM España.
- ____ (1973) *Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid. Agosto 1970 – Julio 1973. Memoria*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.
- ____ (1968-1982) *Boletín del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid (Colección 39 números)*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid
- Collingwood, R. G. (1958). *The principles of art*. Oxford: Oxford University Press.
- Franke, H. W. (1970), *Estética cibernética, Boletín del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid*, número 12, de junio 1970. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid.
- Galilei, G. (1997). *Il Saggiatore*. Obtenido de http://conteudo.icmc.usp.br/pessoas/andcarva/II_Saggiatore.pdf
- Gállego Rubio, María Cristina y Méndez Aparicio, Juan Antonio (2007). *Historia de la Biblioteca de la Universidad Complutense de Madrid*. Madrid: Editorial Complutense, S.A.
- García Camarero, E. (1970). Un ordinateur peut-il créer un oeuvre d'art? *IBM Informatique*, 3, 3–9.
- ____ (1972). Computer art. En Ugo Volli, *La scienza e l'arte*, pp. 129-178. Milán: Gabriele Manzotta Editore.
- Gjerlov, P. (2014). *NEUCC, History of Nordic Computing 4*, [Versión E-Reader].
- International Business Machines Corporation (IBM), (2008), *Think, a History of progress, 1890s to 2001*, Obtenido de https://www.ibm.com/ibm/history/interactive/ibm_history.pdf
- International Business Machines Corporation (IBM) Italie (2019). *Partecipazione della IBM Italia alla vita dell'università italiana*, Obtenido de https://www.sba.unipi.it/sites/default/files/eventi_archivio/2019_04_18_11_05_32.pdf
- Moraga, Eva (2008). The Computation Center at Madrid University, 1966-1973: An Example of True Interaction between Art, Science and Technology. En Broeckmann, Andreas y Nadarajan, Gunalan (editores), *Place Studies in Art, Media, Science and Technology, Historical Investigations on the Sites and the Migration of Knowledge*. Bonn: VDG-Weimar.
- Munford, L. (2010). *El mito de la máquina, técnica y evolución humana*. Logroño: Editorial Pepitas de calabaza.
- ____ (2002). *La megamáquina*. Logroño: Editorial Pepitas de calabaza.
- Reichardt, Jasja (1968). *Cybernetic Serendipity, the computer and the arts*. Londres: Studio International.
- Shannon, Claude (1948). *A Mathematical Theory of Communication*. Electronic Systems and Signals Research Laboratory. [version PDF]. Obtenido en

<http://www.essrl.wustl.edu/~jao/itrg/shannon.pdf>

Sihare, L. P. (1972). *Computer art*. Nueva Deli: National Gallery of Modern Art

Virilo, P. (1999): *Un paisaje de acontecimientos*. Buenos Aires: Editorial Paidós.

_____. *El ciber mundo, la política de lo peor*. Madrid: Editorial Cátedra.

VVAA (1980): «Nueva Tecnología Educativa», *Revista de educación* número 263 enero-abril 1980, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación, Madrid.

VVAA (2009). *Los Encuentros de Pamplona 1972: Fin de fiesta del arte experimental*. Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.

Wiener, Norbert (1998). *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*. Barcelona: Editorial Tusquets.

Fuentes documentales

Archivo General de la Universidad Complutense de Madrid, R-345, 1: «Expediente sobre la cesión por parte de IBM del ordenador IBM 7090 y la creación del Centro de Cálculo de la Universidad, 1965-1967».

