

# La Física i la Informàtica a través de la Història

En aquest document analitzarem la relació entre la **Física** i la **Informàtica** des d'un punt de vista històric. En concret veurem com la comprensió de disciplines com la **Mecànica**, **l'Electromagnetisme**, **l'Electrònica**, **l'Òptica** i la **Mecànica Quàntica** ha permès l'evolució de la **Informàtica**. Durant aquest recorregut històric veurem com la **Ciència Bàsica** ha contribuït decisivament a la creació i evolució de la **Informàtica**, ja que:

- D'una banda, **les necessitats de computació de la Tècnica i de les Ciències Bàsiques, com les Matemàtiques o la Física, han anat creant la necessitat de disposar de màquines de càlcul cada cop més eficients.**
- D'altra, que han estat les pròpies **Ciències Bàsiques les que han anat donant resposta a aquesta necessitat. De forma que l'Hardware dels ordinadors es fonamenta en l'aplicació de fenòmens estudiats per la Física, mentre que el Software es recolza en la Matemàtica.**

## 1. Influència de la Mecànica

És podria dir que la **computació** neix el dia en què l'home utilitza els **dits** per comptar els dies, les nits, les seves possessions, etc. L'evolució del sistema es va produir quan, a més, es van utilitzar altres estris com els dits de les mans d'algun company, pedres, branquillons, ossos, etc. Més tard es van emprar d'altres mitjans com, per exemple, les **taules de fang** que utilitzaven els comerciants de la ciutat de Sumer cap el 6000 AC. L'evolució del sistema dels dits o les pedretes és l'**àbac**. Aquest estri, d'origen i data d'aparició desconeguts, es va utilitzar a Babilònia, després al Món Àrab, Europa, Xina i el Japó.

Les primeres **calculadores mecàniques** es van construir en el segle XVII. Com que la societat era bàsicament artesanal, les màquines només realitzaven les operacions més bàsiques. Matemàtics, físics i astrònoms, van jugar un paper molt important, com a usuaris i constructors d'aquestes calculadores. Així el 1622 l'astrònom **Wilhelm Schickard** va construir una computadora que realitzava les operacions de **suma i resta**, de la qual no s'ha conservat cap exemplar. Vint anys més tard, el matemàtic i físic **Blaise Pascal** va construir la **Machina Arithmetica**. La **Pascalina**, amb els seus engranatges i rodes, realitzava les operacions bàsiques de la **suma i resta**. L'any 1673, el filòsof i matemàtic **Gottfried Wilhem von Leibniz** va millorar la **Pascalina** introduint un sistema de roda esglaonada, que va permetre implementar les operacions de la **multiplicació i la divisió**. D'aquest període també és el **regle de càlcul**, inventat pel matemàtic i astrònom **Edmund Gunter** el 1620. Aquest instrument, que va ser utilitzat pels enginyers i científics de diferents generacions, va desaparèixer cap a la dècada dels 1970's.

Com és ben sabut, la invenció de la màquina de vapor va ésser el desencadenant de la **Primera Revolució Industrial**. Es va passar d'una societat artesanal a una d'industrial i els processos de producció van millorar de tal forma que, per exemple, ja es van poder construir i comercialitzar calculadores com la de **Charles Xavier Thomas de Colmar (1820)**. Aquesta màquina, anomenada aritmòmetre o també màquina de **Thomas**, era una evolució de la calculadora de **Leibniz**. De totes formes la contribució més important de l'època és deguda al matemàtic **Charles Babbage**. Pels volts de 1820 **Babbage** realitzava tediosos càlculs per la Royal Astronomical Society. En aquella època les operacions es feien manualment, i com a únic ajut s'utilitzaven **taules numèriques de diferents funcions matemàtiques**, on sovint hi havia **errates**, que òbviament incidien en el resultat final dels càlculs. **Babbage** volia construir una computadora que generés taules matemàtiques fiables. La **Difference Engine**, que es basava en el mètode de les diferències finites, va ser dissenyada l'any 1822 per generar taules de funcions polinòmiques. D'aquesta màquina, però, només es va construir una petita part.

El primer ordinador de tipus general també va ser un invent de **Babbage**. Es tracta de la famosa **Analytical Engine**, que **Babbage** va començar a pensar l'any 1833. La idea va ser

un avenç molt important, ja que en ella es troben els elements bàsics de qualsevol ordinador modern. Pel dispositiu d'entrada, **Babbage** va adaptar el sistema de **targes perforades** que s'utilitzava en els telers de l'època. Curiosament, les **targes perforades** es van utilitzar fins ben entrats els anys 1970's. La **Màquina Analítica** va ser una idea avançada al seu temps, i es va haver d'esperar fins els anys 1940's per què s'arribés a construir una màquina que tingués alguna cosa a veure amb l'original de **Babbage**. Mentrestant, el món de la computació va avançar en diferents fronts:

1. El de construir **calculadores mecàniques** que feien les operacions bàsiques, millorant la màquina de **Thomas**. Als voltants de l'any 1875, la tecnologia estava preparada per construir engranatges i eixos de gran precisió, que va permetre construir màquines cada cop millors i amb més prestacions, que seran la base de les calculadores mecàniques i elèctriques que es comercialitzaran fins els anys 1970's.
2. El de les màquines que implementaven **operacions lògiques**.
3. El de la construcció de màquines per fer **tractament de dades**. Cap al 1880 la tasca de fer el cens d'una població o portar la part comercial d'una empresa era una feina feixuga que es realitzava a base de capital humà. Per aquella època l'enginyer americà **Herman Hollerith** va dissenyar un sistema per ajudar a fer aquestes tasques, que consistia en un conjunt de **targes perforades**, una perforadora mecànica, una **tabuladora** i una classificadora.
4. El de la construcció **d'ordinadors analògics**, màquines que es fonamenten en lleis de la **Física** anàlogues a la del problema que es vol resoldre. Des del mateix inici del càlcul diferencial va haver científics que van crear diferents enginys analògics per resoldre equacions diferencials. Podríem destacar el físic **William Thomson** (Lord Kelvin) que l'any 1878 va construir un integrador mecànic. L'edat d'or dels **ordinadors analògics** la podríem situar entre el 1930 i el 1940, en què l'enginyer del **Massachusetts Institute of Technology (MIT)**, **Vannevar Bush**, va construir-ne diferents models. El primer va ser l'**Analtzador Diferencial**, un enginy totalment mecànic, que resolvia equacions diferencials de sisè ordre. El 1942 **Bush** va construir una màquina més potent, el

**Rockefeller Differential Analyzer**, que es va utilitzar durant la Segona Guerra Mundial per fer càlculs balístics.

## 2. Influència de l'Electromagnetisme

Els quatre tipus de màquines que hem comentat no són ordinadors en el sentit modern de la paraula. L'aparició de l'**Analitzador Diferencial**, que va fer que molts científics i enginyers veiessin que el progrés de la seva recerca passava per disposar de màquines de computació, i la utilització del **relè**, van donar lloc a una nova generació de computadores. El **relè** és un interruptor electromecànic que va ser inventat cap a l'any 1835 per un dels pares de l'**Electromagnetisme**, el físic **Joseph Henry**. El **relè** va ser utilitzat per **Samuel Morse** en el seu telègraf i posteriorment en el món de la telefonia. L'època en què es va inventar era un moment de grans descobriments en el món de l'**Electricitat** i el **Magnetisme**. D'una banda es recullen els fruits dels treballs experimentals anteriors de científics de la talla de **Charles Augustin Coulomb**, **Alessandro Volta**, **George Simon Ohm**, **Hans Christian Oersted**, **André Marie Ampère**. D'altra, les contribucions de **Michael Faraday** i del mateix **Henry** van permetre demostrar experimentalment la relació entre **Electricitat** i **Magnetisme**. La comprensió definitiva va arribar de la mà de **James Clerk Maxwell**, que el 1860 va demostrar teòricament que les forces elèctriques i magnètiques tenien un origen comú, i que, per tant, s'havia de parlar d'**Electromagnetisme**. La labor de tots aquests científics va donar peu a la invenció d'enginyers tan importants per la indústria com la dinamo, la bombeta, els generadors i motors de corrent altern, o el transformador, que propiciarien una **Segona Revolució Industrial**. Per tant, hem de veure el **relè** com un dels resultats de la comprensió de l'**Electromagnetisme**.

L'evolució de la Informàtica entre el 1930 i el 1940 ens mostra quatre històries semblants relacionades amb l'ús del **relè**, que tenen un mateix guió: Un científic o un enginyer es veu en la necessitat de resoldre un problema matemàtic extremadament tediós. Com el volum

de feina és molt gran, i les calculadores de l'època no li són de gran ajut, decideix construir una màquina específica per resoldre aquest problema.

1. El 1935 l'enginyer alemany **Konrad Zuse** treballava a la fàbrica d'avions **Henschel** de Berlín, dissenyant les estructures de les ales. El problema matemàtic que havia de resoldre era bàsicament el d'un sistema d'equacions lineals. Entre el 1936 i el 1945 **Zuse** va construir 4 calculadores: la **Z1** (1936-38) que era totalment mecànica, la **Z2** (1938) amb unitat aritmètica que funcionava amb **relès**, la **Z3** (1938-1941) amb una memòria de **relès**, i que alguns autors consideren com el primer ordinador programable de la història, i la **Z4** (1941-1945).
2. Pels volts de l'any 1937, l'empresa **Bell Telephone** volia desenvolupar la tecnologia per fer comunicacions a llargues distàncies. Per això calia dissenyar circuits amb amplificadors i filtres. El problema matemàtic a resoldre era bàsicament d'Àlgebra de Nombres Complexos. La companyia va encarregar a un físic, **George Stibitz**, que ja havia construït alguns circuits bàsics que implementaven les operacions de l'Àlgebra de **Boole** amb **relès**, la construcció d'un ordinador. Aquest és el principi de la història d'un dels primers ordinadors que va funcionar amb **relès**: el **Complex Number Calculator (CNC)**, que va entrar en funcionament l'any 1940.
3. Pels volts de l'any 1936 el futur pare de la Teoria de la Informació, **Claude Shannon**, treballava al laboratori del **Vannevar Bush** al **MIT**, desenvolupant els circuits de **relès** del **Rockefeller Differential Analyzer**. **Shannon**, com **Stibitz**, va saber relacionar l'Àlgebra de **Boole** amb els **relès**. L'any 1938 va escriure un article i la seva tesi de llicenciatura sobre com implementar circuits lògics amb **relès**.
4. Cap a l'any 1936 el físic **Howard Aiken** realitzava una tesi doctoral sobre el procés de conducció elèctrica en tubs de buit. Els càlculs que havia de realitzar, que consistien en resoldre equacions diferencials no lineals, eren molt tediosos. **Aiken** va tenir prou habilitat com per convèncer **IBM** per construir una màquina orientada al càlcul científic. El famós **Harvard Mark I**, també conegut com a **Automatic Sequential Controlled Calculator (ASCC)**, es va acabar de construir el 1944. Es tractava d'una

calculadora “monstruosa” de 15 m de llarg, 2.5 m d'alçada i 2 tones de pes, que tenia una unitat aritmètica que funcionava amb circuits de **relès**.

### 3. Influència de l'Electrònica de Buit

La història del **tríode** ens il·lustra de nou l'estreta relació entre la **Física** i la **Tècnica**. La seva invenció està relacionada amb tres grans descobriments: el de les **ones electromagnètiques**, el de l'**electró** i el de la **làmpada d'incandescència**.

1. El 1873 **James Clerk Maxwell** va publicar la versió definitiva del treball on predeïa l'existència d'**ones electromagnètiques**. El 1888 el físic **Heinrich Hertz** va comprovar experimentalment l'existència d'aquestes ones. La primera aplicació no es va fer esperar, i així l'any 1896 veiem com **Guglielmo Marconi** va materialitzar la primera comunicació telegràfica sense fils.
2. L'**electró** va ser descobert l'any 1897 pel físic **Joseph J. Thomson** a partir de diferents experiments realitzats amb **tubs de raigs catòdics**, dispositiu que constitueix una part bàsica de les pantalles de la majoria dels ordinadors actuals.
3. El 1883, l'inventor **Thomas A. Edison** va fer una troballa casual, que es considera l'inici de l'**Electrònica de buit**. Per aquella època **Edison** estava amoïnats perquè les seves làmpades ennegrien. Per analitzar el problema, va construir una làmpada de buit amb un filament i una placa metàl·lica, amb la que va observar un nou fenomen conegut actualment com **efecte Edison**.

Podríem dir que és en la persona del físic **John A. Fleming** on conflueixen els tres descobriments. En efecte, el 1904 **Fleming** va utilitzar una bombeta que es basava en l'**efecte Edison** per millorar la recepció del telègraf sense fils de **Marconi**. **Fleming** va observar com la bombeta rectificava el senyal millorant de forma espectacular la recepció. Aquest invent es coneix amb el nom de **díode de buit** o vàlvula de **Fleming**. El 1906 el

també físic **Lee de Forest** va afegir al **díode de buit** un tercer element, una reixa metàl·lica, amb la que es millorava encara més la recepció. El nou giny va rebre el nom de **tríode**. El caràcter, a la vegada rectificador i amplificador, del **tríode** va fer que de seguida s'utilitzés en diferents camps com la telefonia, la ràdio, la televisió i els ordinadors. El **tríode** és l'antecessor del **transistor** i va substituir el **relè** en l'hardware dels ordinadors perquè la velocitat de resposta passava de milisegons a microsegons (és a dir un factor 1000). Posteriorment, el 1919, els físics **W.H. Eccles** i **F. W. Jordan** van construir el primer circuit **biestable** o **flip-flop** amb dos **tríodes**. Aquest invent és el fonament dels circuits de memòria estàtica **SRAM** dels actuals ordinadors. Les primeres tres màquines que van utilitzar la tecnologia de **tríodes** són l'**Atanasoff-Berry Computer (ABC)**, el **Colossus** i l'**ENIAC**. La motivació per construir l'**ABC** va ser purament científica, mentre que les altres dues màquines obeeixen a objectius bèl·lics, encara que amb l'**ENIAC** també es van fer càlculs de **Física** molt importants

1. La història de la primera computadora digital electrònica ens mostra de nou un físic, en aquest cas **John Vincent Atanasoff**, que es veu en la necessitat de construir una màquina per resoldre sistemes d'equacions lineals. Entre 1937 i 1942, **Atanasoff** junt amb **Clifford Berry**, va construir una computadora, l'**ABC**, que resolva sistemes de vint-i-nou equacions. Aquesta va ser la primera màquina en utilitzar **tríodes** per implementar les operacions aritmètiques i de control. A més, tenia una memòria de **condensadors**, la càrrega dels quals es regenerava periòdicament. Les actuals memòries **DRAM** es basen en aquest sistema. El **condensador** és un invent que es remunta als inicis de la història de l'**Electrostàtica**. L'ampolla de Leyden, l'antecessor del **condensador**, inventada pels físics **Ewald Georg von Kleist** (1745) i **Pieter van Musschenbroek** de Leyden (1746), era un dispositiu per emmagatzemar càrrega.
2. La segona computadora que utilitzava la tecnologia de **tríodes** tampoc era un ordinador de tipus general, sinó que realitzava la tasca de desxifrar els missatges que l'exercit alemany generava durant la Segona Guerra Mundial, amb la mítica màquina **ENIGMA**. Els britànics van encarregar els matemàtics **Max Newman** i **Alan Turing** construir els **Colossus I** (1943) i **II** (1944). Ambdues màquines digitals utilitzaven més de 2000

**tríodes** per generar a la màxima velocitat possible una enorme quantitat de permutacions a fi de desxifrar els missatges codificats.

3. Pels volts de 1943, en plena Segona Guerra Mundial, els laboratoris balístics de l'exercit americà estaven saturats de feina. S'havien de generar taules de tir, i les eines de l'època que eren calculadores, analitzadors diferencials i molt material humà, no donaven l'abast. Per aquest motiu l'exèrcit va veure amb bons ulls una proposta feta pel físic **John Mauchly** i l'enginyer **John Presper Eckert** de la **Moore School of Electrical Engineering** de la **Universitat de Pennsylvania**, per construir un ordinador amb **tríodes**. Aquest és l'origen del primer ordinador electrònic d'ús general de la història, el mític **ENIAC (Electrical Numerical Integrator and Calculator)**. Es va començar a construir el 1943 i va ser operatiu a finals de 1945. Es tractava d'un autèntic “monstre” de 30 m de llarg, 3 m d'alçada i 1 m de fondària que pesava 30 tones i que utilitzava 18000 **tríodes**. Gràcies a la tecnologia de **tríodes** de la unitat aritmètica i als acumuladors, que s'havien implementat amb els circuits **flip-flop** de **Eccles Jordan**, l'**ENIAC** era centenars de vegades més ràpid que qualsevol dels ordinadors de la seva època. El matemàtic **John von Neumann** es va mostrar entusiasmat de disposar d'un ordinador d'aquestes característiques, ja que necessitava una màquina de gran potència per realitzar els laboriosos càlculs del projecte de los **Álamos**. A partir de l'experiència de l'**ENIAC**, **von Neumann** va redactar el seu famós informe, “**First Draft on EDVAC**”, on feia una descripció lògica de quina hauria d'ésser l'**arquitectura dels ordinadors seqüencials**.

Amb l'**UNIVAC I**, també construït per **Mauchly** i **Eckert** el 1951, es pot dir que comença la **Primera Generació** d'ordinadors (1951-1959). Aquests es basen en els postulats de **von Neumann**, la unitat aritmètica funcionava amb **tríodes**, la memòria secundària era de **tambors magnètics**, l'entrada i la sortida es feia amb **targes perforades** i es programaven en llenguatge màquina. Entre el 1946 i el 1959, els canvis més notables en l'hardware dels ordinadors es van produir en les **memòries**. Així, al principi, els ordinadors només tenien memòria principal, i no va ser fins l'any 1949, amb el **Manchester Mark 1**, que es va introduir el concepte de memòria secundària, implementada amb **tambors magnètics**. Pel

que fa a la memòria primària, hi havia diverses opcions: **línies de retard, tubs de raigs catòdics i nuclis de ferrites.**

## 4. Influència del Magnetisme

Els processos d'escriptura i lectura en les **memòries magnètiques** es basen respectivament en la **imantació** d'un material **ferromagnètic** en presència d'un camp magnètic i la **inducció magnètica**. Ambdós fenòmens eren ben coneguts a finals del segle XIX . Així, l'orientació mútua entre dos imants es coneix des de temps immemorials, la interacció entre corrents elèctrics i imants la va observar per primer cop **Oersted** el 1819, els treballs experimentals d'inducció magnètica de **Henry i Faraday** són del 1830, mentre que el comportament dels materials **ferromagnètics** en presència de camps magnètics havia estat estudiat per **Ampère i Faraday**. A finals del segle XIX es coneixien les causes de tots els fenòmens mencionats anteriorment menys el del **ferromagnetisme**, que es va poder interpretar qualitativament el 1928 amb els treballs de **Paul A. M. Dirac i Werner Heisenberg**, en el marc de la **Mecànica Quàntica**.

L'origen de la tecnologia magnètica el trobem en l'inventor **Valdemar Poulsen**, que el 1898 va patentar un sistema per gravar i reproduir so en un fil d'acer. Després de la Segona Guerra Mundial, aquesta tecnologia, fins llavors utilitzada només en el món de l'àudio, també es va aplicar als ordinadors. Les **cintes** i els **tambors magnètics** van ser els primers dispositius de memòria magnètica que es van utilitzar. Els magnetòfons, que es van construir a Alemanya entre els anys 1930 i 1940, eren tant eficients que de seguida es va pensar en les **cintes magnètiques** com a dispositiu auxiliar de memòria. Els **tambors magnètics** es van començar a construir després de la Segona Guerra Mundial. Així, per exemple, el **Manchester Mark I** (1949) va ser un dels primers ordinadors en incorporar aquesta tecnologia. Els **tambors** van ser substituïts pels **discs magnètics**, que es van començar a utilitzar a finals dels anys 1950's. L'**IBM 305 RAMAC** (1956) va ser el primer ordinador en disposar d'una memòria secundària de **discs magnètics**. A mesura que la

tecnologia va anar millorant, els capçals es van fer més petits, i la “mida del bits” va anar disminuint i, per tant, la capacitat dels discs va anar augmentant. El resultat fou la invenció de dos elements indispensables en qualsevol ordinador actual: el **floppy disk** (1971) i el **disc dur** amb la unitat de lectura-escritura Winchester (1973).

Les memòries de **nuclis de ferrita** es van començar a utilitzar a principis dels anys 1950 i van sobreviure com a memòria principal dels ordinadors fins ben entrats els anys 1970's, en què el gran desenvolupament de l'**Electrònica d'Estat Sòlid** va permetre disposar de memòries més barates, més ràpides, i menys voluminoses. La memòria de **nuclis de ferrita** era bastant ràpida, permetia fer un accés aleatori i a més no era volàtil. L'invent és de l'any 1949 i s'atribueix simultàniament al físic **An Wang** i a **Frederick Viehe**. Va ser implementada l'any 1951 en el **Whirlwind** construït al **MIT** per **William Papian** i **Jay Forrester**. Els primers ordinadors comercials que utilitzaven aquestes memòries van ser l'**UNIVAC 1103** (1954), l'**IBM 704** (1954) i l'**IBM 705** (1955).

A partir de l'any 1992 hem vist com la capacitat dels **discs durs** dels ordinadors ha augmentat espectacularment. El motiu és que els nous capçals no llegeixen basant-se en la **inducció** d'un corrent sinó en un fenomen anomenat **magneto-resistència**, o variació de la **resistència** elèctrica amb el **camp magnètic**. Per tant, els nous capçals detecten variacions de **resistència** que són induïdes per les diferents **magnetitzacions** del disc. El fenomen de la **magneto-resistència** va ser observat per primer cop per **William Thomson** el 1857. Tanmateix la implementació com a dispositiu de memòria és el fruit de recerques desenvolupades a partir dels anys 1980's en la fabricació de nous materials amb estructura de capes magnètiques. La **magneto-resistència** és una propietat que es detecta millor que la **inducció**, fet que permet que la grandària dels bits sigui menor, i la capacitat dels discs sigui més gran. La recerca, però, no es va aturar, i a partir de l'any 1996 hem assistit a un altre salt qualitatiu amb l'invent dels capçals de **magneto-resistència colossal**, que detecten millor les variacions de la resistència i que, per tant, permeten disminuir la mida dels bits, i augmentar la capacitat dels discs. El futur sembla que passa per desenvolupar capçals **magneto-resistius per efecte túnel**, que ens permetran disposar de discs amb més capacitat. Aquestes dues darreres tecnologies, però, només es poden explicar a partir de la

**Mecànica Quàntica.** Pel que fa a la memòria principal, darrerament també s'estan fent recerques en nous materials per desenvolupar **memòries magnètiques d'accés aleatori (MRAM)**.

## 5. Influència de l'Electrònica d'Estat Sòlid

Podríem dir que l'**Electrònica d'Estat Sòlid** neix amb el descobriment de **Karl F. Braun** l'any 1874 del caràcter rectificador de la **galena**. Més endavant es va veure que d'altres materials **semiconductors** com el **germani** o el **silici** també rectificaven. Tanmateix, aquests descobriments no van generar un gran nombre d'aplicacions pràctiques ja que, d'una banda, el món dels **semiconductors** era un misteri, i d'altra, perquè a partir dels anys 1910's la recepció de les ones de ràdio es va fer amb circuits de **tríodes** que, a més, amplificaven els senyals. S'haurà d'esperar fins a principis de la Segona Guerra Mundial per trobar una aplicació pràctica. Per què un material és **conductor**, **aïllant** o **semiconductor** només es pot entendre des del punt de vista de la **Mecànica Quàntica**. Aquesta teoria va néixer el 1900 amb el concepte de **quanta** introduït per **Max Planck**, que va ser utilitzat per **Albert Einstein** per explicar l'efecte fotoelèctric el 1905. La **Mecànica Quàntica** ha permès explicar el comportament de l'àtom d'hidrogen (**Niels Bohr**, 1913), ha forçat la introducció de conceptes nous com la dualitat ona-partícula (**Louis de Broglie**, 1924) i ha aportat les eines per a l'estudi d'àtoms polieletrònics, com per exemple, l'equació de **Schrödinger** (1926). El 1928, **Felix Bloch** va desenvolupar la **teoria quàntica** de la conducció elèctrica que va permetre l'any **1931** a **Alan Wilson** explicar la diferència entre **conductors**, **aïllants** i **semiconductors**.

Els **semiconductors** es van començar a utilitzar a principis de la Segona Guerra Mundial. El motiu fou la invenció del **radar**. Aquest giny fou encara més determinant que la bomba atòmica per què els aliats guanyessin la guerra. Mentre que els receptors dels senyals del **radar** basats en els **tríodes** s'havien mostrat ineficaços per detectar les **microones** del **radar**, els **díodes** de **semiconductors** complien perfectament aquesta funció. Per tant,

durant tota la guerra es va realitzar una intensa feina de recerca destinada a desenvolupar tècniques, d'una banda per obtenir **germani** i **silici** de gran puresa, i d'altra, per afegir-hi impureses artificialment i de forma controlada, per construir **díodes** de **semiconductors**. Acabada la guerra es disposava de tota una tecnologia i d'uns dispositius que funcionaven, sense que les causes fossin ben conegudes. Això va animar a l'empresa **Bell Telephone** a contractar un equip de físics per què fessin recerca bàsica en **Física de l'Estat Sòlid**. El resultat fou que l'any 1948 **John Bardeen, Walter Brattain i William Schokley** van desenvolupar el **transistor**.

Els primers ordinadors que van funcionar amb **transistors** van néixer de la curiositat de provar els nous dispositius en els ordinadors, i es van desenvolupar en universitats o centres de recerca de grans companyies, com per exemple els dos ordinadors del Departament d'Enginyeria Elèctrica de la **Universitat de Manchester** construïts els anys 1953 i 1955, el **TRADIC** (Transistor Digitally Computer) realitzat a la **Bell Telephone** l'any 1955 i el **TX0** desenvolupat en el **MIT** el 1956. La **Segona Generació** d'ordinadors comença cap a l'any 1957, quan **IBM** treu al mercat la primera computadora amb **transistors**, l'**IBM 608**, i acaba l'any 1964, quan s'aconsegueixen fer **circuits integrats** a petita escala.

L'any 1958, dos científics, **Jack Kilby** i **Robert Noyce**, que treballaven a dues empreses diferents i que es dedicaven a la producció de **díodes** i **transistors**, van tenir la mateixa idea: per què enlloc d'utilitzar una oblia de material **semiconductor** per construir **transistors** i després fer les connexions pertinents d'un circuit amb altres elements, no es construeix directament el circuit a l'oblia? Aquest és l'origen dels **circuits integrats o xips**. El 1958 es va construir el primer **xip** que consistia en un circuit sobre germani amb una **resistència**, un **transistor** i un **condensador**. Aquest és el principi d'una tecnologia que no ha parat d'evolucionar i que any rera any ha anat integrant més i més elements. El moment clau es produeix l'any 1962, en el qual, tot utilitzant la **tecnologia metall, òxid i semiconductor (MOS)**, es va fabricar el primer **transistor d'efecte de camp**. A partir d'aquí els fets s'han anat desenvolupant a una gran velocitat. Així, l'any 1964, es va assolir un primer nivell d'integració en què es podien encabir 10 **transistors** en un **xip**, fet que donaria lloc a la **Tercera Generació** d'ordinadors (1964-1971). Cap a l'any 1971 es va

assolir un nivell d'integració suficient com per encabir en un sol **xip** el nombre de components necessari per construir memòries **RAM** de **semiconductors**, que substituirien les de **nuclis de ferrita**. D'altra banda, aquest nivell d'integració també va permetre fabricar **microprocessadors**, és a dir, petits ordinadors amb unitat central de processos, memòria i controls de sortida i entrada, que donaria lloc a la **Quarta Generació** d'ordinadors (1971-...). Des de llavors el procés ha anat continuant i la llei que **Gordon Moore** va postular l'any 1965 s'ha anat complint any rera any. Actualment s'integren milions de **transistors** en un **xip**. Fins quan ? Alguns diuen que a tot estirar potser en tenim per 20 anys. I llavors ... ?

## 6. Influència de l'Òptica

El funcionament de dispositius com **pantalles planes**, **discs òptics** i **fibres òptiques** es fonamenta en alguns fenòmens de l'Òptica com la **polarització**, la **interferència** i la **reflexió total interna**. Aquesta última ja es coneixia abans que **Willebrord Snell** enunciés les lleis de la reflexió i la refracció el 1621, mentre que la **polarització** i la **interferència** es van poder interpretar a principis del segle XIX amb l'adopció del model **ondulatori** de la llum proposat per **Thomas Young**, **Etienne Malus**, **David Brewster** i **Augustin Fresnel**. Malgrat que aquests fenòmens es coneixen des de fa més de 150 anys, s'ha necessitat una tecnologia de gran precisió per desenvolupar els dispositius abans esmentats.

El procés de lectura en un **disc òptic compacte (CD)** es basa en el fenomen de la **interferència**. El **CD** va ser patentat l'any 1970 pel físic **James T. Russell**, i va ser construït en la seva versió definitiva per les multinacionals **Sony** i **Philips** l'any 1985. L'evolució ha estat el **DVD** que també es fonamenta en el mateix principi físic. Els discs regravables de tecnologia **magneto-òptica** basen el seu funcionament en el canvi de la **polarització** de la llum amb un **camp magnètic**, un fenomen descobert per **Faraday** l'any 1845. Si algun dia s'arriba a un límit en la tecnologia dels **discs òptics**, sembla que una possible alternativa serien les memòries **hologràfiques**. Un **holograma** és una imatge virtual tridimensional que utilitza el fenomen de les **interferències**. Les bases teòriques de

la **holografia** van ser establertes per **Dennis Gabor** l'any 1947. Tanmateix es va haver d'esperar fins la invenció de **làser** per fabricar el primer **holograma** (1962). Les **memòries hologràfiques**, que encara estan en fase de desenvolupament, presenten l'avantatge que la informació es guarda en tres dimensions, i per tant la capacitat d'informació és molt més gran.

El món de les **pantalles** dels ordinadors està sofrint un canvi molt gran, i en pocs anys veurem com gairebé totes les pantalles dels ordinadors seran planes. En principi eren dues les tecnologies que havien de substituir la dels tubs de **raigs catòdics**, la de **plasma** i la de **cristall líquid**. Darrerament sembla que és aquesta última la que s'ha imposat. Concretament, les anomenades pantalles planes de **cristall líquid** de matriu activa es caracteritzen perquè a cada punt de la pantalla hi ha una cèl·lula de **cristall líquid** controlada per un **transistor**. El procés d'activació de cadascuna de les cèl·lules es fonamenta en la **polarització** de la llum i en com varia l'estructura del **cristall líquid** amb un **camp elèctric**.

Les **fibres òptiques** han estat la gran revolució en el món de les comunicacions d'aquests darrers anys. El fenomen físic en què es basen, la **reflexió total interna**, es coneix des de fa més de 500 anys, tanmateix la seva implementació no va ser fàcil. A principis dels anys 1950 es van començar a fer algunes proves d'enviar imatges a través de **fibres òptiques**, però l'aplicació en el món de les comunicacions només va ser factible a partir de la invenció del **làser**.

Des de fa uns 20 anys s'ha vingut parlant d'un **ordinador** totalment **òptic** en què les portes lògiques s'implementarien amb dispositius òptics amb temps de resposta menors que els dels **transistors** (actualment nanosegons), on els corrents serien de fotons enlloc d'electrons. Malgrat que s'han construït alguns prototipus, la idea encara no ha quallat com per crear-ne a gran escala. Darrerament el tema s'ha revifat degut al gran desenvolupament en el camp dels anomenats **cristalls fotònics**, amb els que s'han fet **transistors** i **díodes**, que es podrien utilitzar per construir portes lògiques. Podria ser aquest el futur ?

## 7. Influència de la Mecànica Quàntica

El funcionament de la major part de l'hardware dels actuals ordinadors es basa en els principis de la **Mecànica Quàntica**. Així veiem que l'**Electrònica d'Estat Sòlid** està present en el **processador** i en la **memòria primària**. El **làser** s'utilitza en els dispositius de lectura dels **discs òptics**, en les **impressores làsers** o en els sistemes de comunicació per **fibra òptica**. Els dispositius **optoelectrònics**, com els **díodes emissors de llum (LED)** i els **fotodetectors**, estan presents en el “**ratolí**”. Els capçals lectors dels **discs durs** actuals utilitzen el fenomen de la **magneto-resistència colossal**, que com hem dit es basa en l'**efecte túnel**. Sense cap mena de dubte la **Mecànica Quàntica** anirà incidint més i més en el futur, a mesura que el procés de miniaturització se segueixi desenvolupant, i es passi del món “micro” al “nano”.

Un dels invents més importants del segle XX va ser el **làser**. Aquest existeix gràcies al fenomen **quàntic** de l'**emissió estimulada** de la llum suggerit per **Albert Einstein** el 1916. La implementació pràctica no va ser fàcil, i es va haver d'esperar fins l'any 1960 per què **Theodore Maiman** inventés el **làser de robí**. Els primers **làsers** eren massa grans i poc eficients per poder ser realment aplicables en el món de l'**Electrònica**. Calia inventar un **làser** de petites dimensions. El gran desenvolupament de l'**Optoelectrònica**, des de principis dels anys 1960's, amb dispositius com **fotodíodes**, **fototransistors**, **fotodetectors**, va provocar l'aparició del primer **làser semiconductor** l'any 1971.

El procés de miniaturització es troba en un moment en què estem deixant la **microelectrònica**, per endinsar-nos en el món de la **nanoelectrònica**. En aquest domini els nous dispositius es basaran en fenòmens **quàntics**, com per exemple l'**efecte túnel**. Actualment s'han construït **díodes** i **transistors** que es basen en aquest efecte. El següent pas és, doncs, la construcció de portes lògiques. Una altra alternativa en el món “nano” és la construcció de portes lògiques a partir de **transistors moleculars** i cables de **nanotubs**. Actualment molta recerca bàsica està enfocada a la materialització d'un **ordinador quàntic**. Encara que el futur és difícil de predir, sembla que la **computació quàntica** tindria aplicacions en el tractament de bases de dades i en el de la criptografia .

## Consideracions finals

La **història** ens demostra que descobriments aparentment irrelevants des d'un punt de vista tecnològic han esdevingut les bases que han permès dissenyar dispositius imprescindibles en l'hardware actual. Sembla prou clar que el paper de la **Física** en el desenvolupament de la **Informàtica** ha estat fonamental. Fins i tot un sistema de comunicació per la reduïda comunitat de físics d'altres energies va constituir la llavor d'una de les principals eines de distribució d'informació disponibles actualment, la **web**. L'any 1989 **Tim Berners Lee** va desenvolupar en el **CERN** el software necessari per a la seva implementació. No sabem amb certesa cap on anirà la **Informàtica** del futur, però hem d'utilitzar les pistes que ens dóna el present i la nostra intuïció per fer possible que els nostres **titulats** en siguin **protagonistes** i no purament **espectadors**. Per tant, creiem que la presència de la **Física** als nostres plans d'estudis està més justificada que mai, o si voleu està justificada com sempre.