

# Joan Oró, un precursor de l'astrobiologia

Jordi Isern  
Institut de Ciències de l'Espai (CSIC)

## Introducció

L'astronomia, que etimològicament vol dir «la llei de les estrelles», té per objectiu l'estudi dels fenòmens que es produeixen més enllà de la Terra; fins i tot, el nostre món, entès com a planeta, es pot considerar com un objecte més d'estudi.

L'astronomia sempre ha tingut —i té— una profunda repercussió en la nostra comprensió del món i en la nostra vida cultural, ja que les preguntes que pretén respondre estan profundament arrelades a l'esperit humà: quin és l'origen de l'Univers?, com es van formar les galàxies?, quin és el cicle vital de les estrelles? o, i aquesta és la pregunta clau, què és la vida i com s'ha originat? Per poder respondre aquestes preguntes i poder interpretar tot l'univers que ens envolta, l'astronomia ha utilitzat innumbrables recursos científics que l'intel·lecte humà ha anat construint al llarg dels segles. D'aquesta manera s'ha vist com naixien especialitats com l'astrofísica i la cosmologia, que pretenen explicar les propietats de les estrelles o dels planetes o simplement de tot l'univers mitjançant les lleis de la física; l'astroquímica, dedicada a l'anàlisi dels meteorits o a les complexes reaccions que es produeixen als núvols moleculars que impregnen el medi interestel·lar o les reaccions que es produeixen a la superfície dels nuclis cometaris en presència de fonts de llum

ultraviolada o d'elements radioactius —per citar només alguns exemples— o també l'astrogeologia, que estudia les propietats dels planetes interns o terrestres, com d'altres cossos sòlids dels sistemes planetaris. En tots els casos es tracta d'aplicar els coneixements fonamentals per entendre l'univers del qual formem part.

L'astrobiologia és l'última branca que s'ha incorporat a l'astronomia. L'objectiu d'aquesta especialitat és estudiar l'origen de la vida, la distribució i l'evolució, tant en el passat com en el futur. Els interrogants que pretén respondre —què és la vida?, com va aparèixer la vida a la Terra?, com evoluciona i es desenvolupa?, hi ha vida extraterrestre?, quin és el futur de la vida a la Terra i a altres indrets?— són complexos i exigeixen un tractament multidisciplinari en el qual tenen molt a dir disciplines clàssiques com la biologia, la física, la química i la geologia, o més modernes com la informàtica. Aquesta disciplina, l'astrobiologia, també havia rebut el nom de «xenobiologia» o «exobiologia», però aquestes denominacions aviat van caure en desús, ja que la confinaven a estudiar un objecte, la «vida extraterrestre», que encara no ha estat descobert. De fet, aquesta circumstància ha estat el principal obstacle per a convertir l'astrobiologia en una disciplina respectable i respectada, clarament separada de la biologia fonamental, tal com ja ha passat amb la física i l'astrofísica.

L'existència de vida fora de la Terra és una hipòtesi verificable científicament per exploració directa o a través dels efectes indirectes causats pel desequilibri que introdueixen els éssers vius. El fet de convertir les especulacions sobre suposades formes de vida en hipotètics planetes en problemes ben plantejats, susceptibles d'ésser resolts científicament i, a la vegada, convèncer l'administració que buscar vida en altres planetes no era ni ciència ficció ni xarlatanisme va ésser una tasca que van començar els científics formats durant els anys cinquanta del segle passat, els quals van arribar a la maduresa als anys seixanta, amb les expedicions a la Lluna; als setanta, amb el primer aterratge a Mart; als setanta i als vuitanta, amb la visita als planetes gegants del nostre sistema, i que van culminar amb el descobriment dels primers planetes exteriors al Sistema Solar durant els anys noranta. Entre aquests científics que van elevar les especulacions a categoria científica hi havia Joan Oró.

## Un esperit inquiet

Joan Oró va néixer l'any 1923 a Lleida, en el si d'una família menestral. Era el petit, l'únic noi, de cinc germans. Va fer l'ensenyament primari a una escola religiosa, la dels Germans Maristes i, com tota la mainada de l'època, va ajudar el seu pare en l'ofici de forner. La Guerra Civil el va agafar amb dotze anys, quan ja havia començat el batxillerat a l'Institut de Segon Ensenyament de Lleida. Acabada la guerra va continuar amb els estudis secundaris fins acabar-los l'any 1942. En la biografia que va escriure Miquel Pairoli es menciona la importància que van tenir sobre ell dos professors, el de biologia i el de matemàtiques, els quals li van

despertar una vocació científica que el va empènyer a ampliar els coneixements sobre aquests temes i a interessar-se per l'origen de la vida.

Aquesta vocació el va portar a matricular-se en els estudis de llicenciatura de química a la Universitat de Barcelona, el curs 1942-43. Tal com s'esmenta en la seva biografia, Joan Oró considerava que la formació que va adquirir va ésser força bona, si es tenen en compte les circumstàncies de l'època, i que aquests coneixements li van permetre desenvolupar-se satisfactòriament durant la seva estada als Estats Units. Segons ell, aquesta bona formació bàsica era conseqüència de l'exigència dels estudis, del propi esforç personal i de tenir a la seva disposició bons llibres de text que eren, la majoria, traduccions de clàssics alemanys.

Quan va acabar els estudis de química l'any 1947, va intentar exercir de químic, va muntar diversos negocis que no van anar prou bé; a més, la ferma decisió de dedicar-se a la recerca científica, i vist el panorama científic català, el va empènyer a emigrar als Estats Units com tants d'altres. L'any 1952 va aprofitar una beca per a cursar estudis d'enginyeria química al Rice Institute de Houston. Allà va conèixer el Dr. Rappoport, que li va oferir l'oportunitat de fer una tesi en bioquímica a l'Escola de Medicina de Baylor. El tema de la tesi era estudiar la incorporació de l'àcid fòrmic a l'epiteli intestinal i el mecanisme que feien servir els animals per a convertir-lo en diòxid de carboni, amb el qual va obtenir el títol de doctor (*Philosophical Doctor*, en terminologia anglosaxona) en bioquímica. De Baylor va passar a la Universitat de Houston, on va exercir com a professor fins a la seva jubilació definitiva l'any 2002.

## Joan Oró i Catalunya

Joan Oró mai no va perdre el contacte amb Catalunya i, com tants d'altres, va prendre unes quantes iniciatives per tal d'impulsar la vida científica del nostre país. Després de rebutjar una primera oferta per anar a treballar a la Universitat de Granada, va acceptar ocupar la Càtedra de Biofísica de la Universitat Autònoma de Barcelona, l'any 1971, quan n'era rector el professor Vicent Villar-Palasi. Per diverses raons, en gran part relacionades amb el sistema acadèmic de l'època, va renunciar a aquesta plaça i va tornar a Houston. De totes maneres, va participar en la creació de l'Institut de Biofísica de la UAB, actualment anomenat Institut de Biotecnologia i Biomedicina.

L'any 1975, per iniciativa del professor Federico Mayor Zaragoza, es va crear l'Institut de Biofísica i Neurobiologia del CSIC. Aquest institut s'havia d'instal·lar a l'edifici Flor de Maig, de la Diputació de Barcelona, situat al Parc de Collserola. Finalment, per les circumstàncies de l'època —era l'any 1975—, se'n va desvincular i va tornar una vegada més a Houston. L'Institut, però, es va convertir en el Departament de Neuroquímica del Centre de Recerca i Desenvolupament del CSIC, per convertir-se finalment en l'Institut d'Investigacions Biomèdiques de Barcelona, també del CSIC.

Una altra de les seves iniciatives va ésser la creació del Centre d'Estudis Avançats de Blanes, en col·laboració amb la Diputació de Girona, l'Ajuntament de Blanes i el CSIC. Aquest institut, també del CSIC, tenia com a objectius fer recerca multidisciplinària i actuar com a incubadora de grups científics emergents. D'aquí van sortir l'Institut d'Investigació en Intel·ligència Artificial (CSIC) i l'Institut de Ciències de l'Espai (CSIC), fortament lligat a l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya.

L'any 1998, una vegada jubilat, Joan Oró també va impulsar la creació del Parc Astronòmic del Montsec, el qual té per objectiu la recerca astronòmica, mitjançant un telescopi robòtic amb funcionament previst a finals del 2007 i, a més, la formació en les ciències de l'univers.

Durant els anys 1980-1981 va ésser membre del Parlament de Catalunya, president del Consell Tecnològic de Catalunya i director de la Fundació Agrícola Catalana. L'objectiu era organitzar els traspassos de competències científiques que preveia l'Estatut del 79 i que lamentablement no es van produir, per la qual cosa, una vegada més, va tornar a Houston. Tot i això, aquí no es va acabar la seva acció animadora de la ciència, ja que l'any 1981 va crear l'Associació d'Amics de Gaspar de Portolà, un lleidatà que va explorar la Baixa Califòrnia, per fomentar la cooperació entre aquest estat i Catalunya i va contribuir a la creació de la Fundació Catalana per a la Recerca, l'any 1986. Precisament, una de les accions d'aquesta fundació va ésser la creació de l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, el qual agrupa investigadors de les universitats de Barcelona, de l'Autònoma de Barcelona, de la Politècnica de Catalunya i del CSIC, dedicats a la recerca espacial.

## La cerca de la vida

L'estudi de l'origen de la vida va ésser una de les grans passions de Joan Oró (1990). Tenia el convenciment, extret segons ell de Darwin i de Löb, que la vida era la conseqüència final d'una sèrie de processos simples que anaven incrementant gradualment la complexitat de les molècules. A finals dels anys cinquanta, tan bon punt va disposar d'un laboratori adient i lliibertat de recerca, va començar a treballar en la síntesi de molècules orgàniques d'interès per a la vida, a partir de molècules més simples. El primer experiment que va fer, en col·laboració amb els seus alumnes, va ésser produir glicina a partir d'hidroxilamina i formaldehid en absència de descàrregues elèctriques (Oró *et al.*, 1959), la qual cosa va demostrar que els aminoàcids es podien formar de maneres diverses a partir de compostos més senzills. A partir d'aquí, el seu interès es va enfocar cap a la síntesi d'aminoàcids formats per polimerització del cianur d'hidrogen sota condicions similars a les de la Terra primitiva (Oró i Kamat, 1961). Aquesta línia de recerca el va portar a la síntesi completa de tots els components dels aminoàcids. En particular, el descobriment que li va obrir les portes del reconeixement internacional va ésser el de la síntesi de l'adenina a partir del cianur d'hidrogen. La importància d'aquesta troballa

ve del fet que l'adenina és un component bàsic de diverses molècules, com l'ADN o l'ATP, que són fonamentals per al metabolisme i la reproducció de la vida (Oró, 1961).

A partir del 1963, Joan Oró va treballar en la idea que la síntesi de les macromolècules biològiques es podia fer a partir d'agents simples com l'amidazol o la cianamida (Basile *et al.*, 1984; Oró *et al.*, 1984; Yuasa *et al.*, 1984). També, dins aquesta línia de pensament, va treballar, en condicions suposadament prebiòtiques, en la síntesi dels fosfolípids que caracteritzen les membranes cel·lulars (Baeza *et al.*, 1986; Mar *et al.*, 1987; Rao *et al.*, 1982, 1987), o molècules com la histidina (Shen *et al.*, 1990) o l'histidil-histidina (Shen *et al.*, 1990). També, seguint amb la idea de l'increment de la complexitat, va obtenir vesícules de liposomes similars a les membranes cel·lulars i va construir models teòrics protocel·lulars d'embolcalls liposomàtics i de molècules d'RNA (Lazcano *et al.*, 1988; Baeza *et al.*, 1990; Lazcano *et al.*, 1990).

Des que s'havien fet les primeres anàlisis espectroscòpiques dels cometes, se sabia que el cianur d'hidrogen era un dels seus constituents. De fet, i a títol d'anècdota, quan el cometa Halley va passar a prop del Sol el 1910 i la Terra va travessar la cua, es va estendre el rumor que l'atmosfera terrestre quedaria contaminada pel cianur, la qual cosa va provocar el pànic entre molta gent i fins i tot el suïcidi d'algunes persones. Aquest fet i els seus treballs sobre la síntesi de les proteïnes a partir del cianur el va portar d'una manera natural a interessar-se per aquests cossos celestes.

Els cometes són boles de neu brutes. Estan fets de gels d'aigua, de diòxid de carboni i d'altres espècies químiques juntament amb molts compostos orgànics formats gràcies a l'acció de la llum ultraviolada del Sol. Aquesta composició química i el fet que en el passat el bombardeig meteorític de la Terra fos molt més intens el van induir a proposar que els oceans i l'atmosfera eren d'origen cometari i que, a més a més, aquests objectes haurien aportat la matèria orgànica necessària per a generar de manera espontània les molècules fonamentals per a la vida com són els aminoàcids, l'adenina, la guanina i altres (Oró, 1961; Bar-Nun *et al.*, 1981; Lazcano-Araujo i Oró, 1981). Aquestes idees encara són parcialment vigents, ja que avui dia es creu que les aportacions cometàries representen una fracció important dels compostos volàtils que té la Terra.

Aquestes especulacions, exposades a la revista *Nature* l'any 1961, li van obrir les portes a una col·laboració amb la NASA que va durar des de l'any 1963 fins a la seva jubilació l'any 1994, la qual cosa li va permetre participar en la primera visita de l'home a la Lluna i el primer aterratge a Mart. Des del punt de vista metodològic, Joan Oró va ésser un notable especialista en el camp de la cromatografia i espectrometria de masses. La col·laboració amb la NASA li va permetre disposar d'un dels aparells més avançats d'anàlisi molecular de l'època, l'LKB, que combinava les virtuts dels cromatògrafs de gasos i els espectròmetres de masses. Aquest instrument, li va permetre, al seu torn, estudiar la presència de matèria orgànica a meteorits (Oró, 1963; Oró *et al.*, 1966; Nooner i Oró, 1967; Levy *et al.*, 1970) i a sediments molt antics (Oró *et al.*, 1965; Oró i Nooner, 1970), així com el gran problema que representa la contaminació de les mostres per causes naturals (Oró i Tornabene, 1965) o humanes en aques-

ta mena d'estudis. Gràcies a aquests treballs, Joan Oró va ésser el primer a detectar la presència d'aminoàcids dextrogirs i levogirs en alguns meteorits, la qual cosa demostrava que aquests no eren d'origen terrestre (Levy *et al.*, 1970; Bada *et al.*, 1983).

A causa de les grans distàncies que separen les estrelles, l'home només pot aspirar a explorar directament i en una generació els planetes i satèl·lits del Sistema Solar. Com que es desconeix quin és l'origen de la vida, és lògic suposar que aquesta es basa en la química del carboni i la presència d'aigua líquida, per la qual cosa el primer objectiu ha estat buscar en els llocs on hi ha o hi ha hagut aigua líquida. Per aquest motiu, l'estudi de Mart ha estat des de sempre el gran objectiu dels astrobiòlegs, però abans d'anar a Mart calia passar per la Lluna.

La Lluna és un satèl·lit que, per les seves mides, no pot retenir una atmosfera i només pot tenir aigua en forma de gel en algun cràter profund de les zones polars a on mai no arriba la llum del Sol. La idea que hi havia vida es va descartar tan bon punt els telescopis van tenir la potència necessària per a reconstruir amb detall la seva superfície, demostrar que no tenia atmosfera i que els famosos mars no eren res més que grans extensions de lava. Durant part del segle XIX els defensors dels selenites van especular sobre la possibilitat d'existència de vida a la cara oculta, però aquesta possibilitat va desaparèixer definitivament quan la sonda soviètica *Luna 3* va enviar les primeres fotografies d'aquesta regió. Tot i això, calia analitzar les mostres de sòl transportades a la Terra pels astronautes de les missions *Apollo* per esvaïr qualsevol dubte. Per aquest motiu, l'any 1964, la NASA va nomenar Joan Oró cap del Grup de Cosmoquímica Orgànica de la Universitat de Houston. Aquesta circumstància li va permetre equipar-se amb un dels millors instruments d'anàlisi química de l'època: un cromatògraf de gasos i un espectròmetre de masses integrats. Aquestes anàlisis van mostrar que a la Lluna no hi havia matèria orgànica i que les traces de metà i età que s'hi van trobar eren probablement d'origen cometary (Updegrave *et al.*, 1969; Oró *et al.*, 1970; Gibert *et al.*, 1971; Wachi *et al.*, 1971).

Mart sempre ha fascinat la humanitat a causa del seu característic color vermell i la seva preeminència a la volta celeste. Les primeres observacions amb telescopi es feien a ull nu, per la qual cosa molt sovint es treien conclusions precipitades com a conseqüència de percepcions falses. Una d'aquestes, deguda a Schiapparelli, va ésser l'existència de canals a Mart. Aquest fet, afegit a la presència de casquets polars i a l'existència de canvis estacionals, van fer que es popularitzés la idea que hi havia vida al planeta roig. Les primeres sondes, especialment la *Mariner 9* l'any 1971, van mostrar que l'aigua líquida havia corregut lliurement per la superfície del planeta en el passat, per la qual cosa l'anàlisi del sòl marcjà per a veure si hi havia vestigis de vida es va convertir en un objectiu prioritari. El 20 de juliol de 1976, el mòdul d'aterratge de la primera sonda *Viking* es va posar suaument sobre la superfície del planeta vermell i un parell de setmanes més tard ho va fer el mòdul de la segona sonda, mentre que els mòduls principals de les dues sondes es quedaven en una òrbita que els permetia observar el planeta i actuar d'enllaç amb la Terra. Els mòduls d'aterratge o *landers* estaven equipats amb un braç robòtic amb capacitat d'agafar mostres del sòl i dipositar-les en uns compartiments per ésser analitzades.

L'equip d'anàlisis biològiques estava format, al seu torn, per diversos equips. Un n'era el d'anàlisi molecular, del qual formava part Joan Oró, i que estava dirigit pel Dr. Biemann del Massachusetts Institute of Technology. Aquest equip tenia com a tasca estudiar *in situ* i de manera automàtica la presència de matèria orgànica a les mostres obtingudes per les sondes *Viking* (Anderson *et al.*, 1972). Per dur-la a terme es va dissenyar un espectròmetre de masses acoblat a un cromatògraf de gasos molt similar al que Joan Oró havia utilitzat a Houston per estudiar les mostres de la Lluna i de diversos meteorits, capaç de treballar sota les condicions ambientals del planeta Mart. Els resultats d'aquests estudis van ésser una caracterització precisa i sistemàtica dels components volàtils de l'atmosfera i el sòl marcià, els quals van confirmar l'absència de matèria orgànica al planeta. Aquests treballs es van publicar en diverses revistes de gran prestigi com *Science* (Biemann *et al.*, 1976) o el *Journal of Geophysical Research* (Biemann *et al.*, 1977).

El programa d'investigació de la presència de vida a Mart constava de diversos experiments biològics. Un consistia a agafar una mostra de sòl, barrejar-la amb una solució aquosa i substàncies nutritives marcades amb carboni 14 radioactiu, de manera que, si a la mostra de sòl hi hagués vida, aquesta metabolitzaria els nutrients i provocaria la formació de diòxid de carboni radioactiu. Els resultats inicials van ésser espectaculars, ja que la quantitat de diòxid de carboni que es va desprendre va ésser enorme, la qual cosa indicava, a primera vista, que s'havia detectat vida a Mart. Malauradament, l'experiment va ésser un fracàs. Tal com solia repetir el Dr. Oró, l'ànima li va caure als peus quan, a la reunió prèvia a la roda de premsa que es va convocar per donar a conèixer el descobriment de l'existència de vida fora de la Terra, va ésser informat que dins del brou nutritiu hi havia glucosa, aminoàcids i d'altres substàncies com l'àcid fòrmic. El Dr. Oró havia fet la tesi sobre l'oxidació de l'àcid fòrmic i coneixia molt bé les seves propietats, per la qual cosa de seguida va copsar que la formació de diòxid de carboni era conseqüència d'una simple reacció química ben coneguda a la Terra i que no era cap prova de l'existència de vida.

Durant tres anys, entre 1977 i 1980, Joan Oró i altres col·laboradors, com el Dr. Holzer, es van dedicar a estudiar el perquè de l'absència de matèria orgànica a la superfície de Mart. L'explicació que van proposar va ésser ben senzilla: la llum ultraviolada del Sol provocava, al cap d'un temps molt curt, l'oxidació dels compostos orgànics en diòxid de carboni i aigua (Oró i Holzer, 1979a, b).

## Conclusions

La trajectòria científica de Joan Oró va estar molt marcada per la seva vocació d'esbrinar quin era l'origen de la vida i per la idea que aquesta era conseqüència d'una sèrie de processos simples, espontanis, que anaven incrementant gradualment la complexitat de les molècules. Tal

com deia, va tenir l'encert d'anar a Houston, als Estats Units, en un moment en el qual la recerca espacial estava en una fase pionera, plena d'entusiasme i en plena ebullició intel·lectual. Les seves contribucions van ésser notables i reconegudes i van ajudar de manera cabdal a configurar i donar respectabilitat a una nova branca de l'astronomia, l'astrobiologia, la qual, quan aconseguí el seu objectiu de trobar vida, marcarà el pensament científic i la cultura de la humanitat durant molts segles.

Els intents per fer-lo tornar dels Estats Units van fracassar per diverses raons. Probablement la més important va ésser a causa que Joan Oró no era un exiliat polític, sinó científic. Va marxar de Catalunya perquè a finals dels anys cinquanta no hi havia cap oportunitat de fer ciència ni hi havia cap esperança que se n'hi pogués fer mai. Va anar a un lloc que era l'epicentre de la recerca espacial, on disposava del millor instrumental de l'època i des d'on participava en algunes de les missions més excitants de la NASA. L'oferiment que se li va fer per al seu retorn era treballar en un ambient on encara imperava el sistema funcional que havia conegut a la seva joventut; en els anys setanta, quan els recursos dedicats a la recerca científica eren minsos i es repartien de manera arbitrària i on la lluita política, totalment legítima, no donava temps a la reflexió i a la calma que l'activitat científica necessita.

La seva relació, la de Joan Oró, amb Catalunya va ésser d'una gran intensitat i sempre va estar presidida per les ganes de contribuir que el nostre país anés endavant. Una bona prova d'aquest desig va ésser la creació de diversos instituts de recerca vigorosos i competitius, i també cal valorar els seus esforços perquè la premsa considerés i divulgés l'activitat científica.

## Bibliografia

- ANDERSON, D. M. *et al.* (1972). «Mass Spectrometric Analysis of Organic Compounds, Water and Volatile Constituents in the Atmospheres and Surface of Mars: The Viking Mars Lander». *Icarus*, núm. 16, p. 111.
- BADA, J. L. *et al.* (1983). «On the reported optical activity of aminoacids in the Murchison meteorite». *Nature*, núm. 301, p. 494.
- BAEZA, I., *et al.* (1986). «Studies on precellular evolution: the encapsulation of polyribonucleotides by liposomes». *Adv. Space Research*, núm. 6, p. 39.
- (1990). «Diffusion of Mn<sup>2+</sup> into liposomes mediated by phosphatidate and monitored by the activation of an encapsulated enzymatic system». *J. Mol. Evol.*, núm. 31, p. 453.
- BAR-NUN, A.; LAZCANO-ARAUJO, A.; ORÓ, J. (1981). «Could life have evolved in cometary nuclei?». *Origins of Life*, núm. 11, p. 388.
- BASILE, B.; LAZCANO, A.; ORÓ, J. (1984). «Prebiotic synthesis of purines and pyrimidines». *Adv. in Space Research*, núm. 4, p. 125.

- BIERMANN, K., *et al.* (1976). «Search for Organic and Volatile Inorganic Compounds in Two Surface Samples from the Chryseus Planitia Region of Mars». *Science*, núm. 194, p. 72.
- (1977). «The Search for Organic Substances and Inorganic Volatile Compounds in the Surface of Mars». *Journal of Geophysical Research*, núm. 82, p. 4.641.
- GIBERT, J.; FLORY, D.; ORÓ, J. (1971). «Identity of a common contaminant of Apollo 11 lunar fines and Apollo 12 York meshes». *Nature*, núm. 229, p. 33.
- LAZCANO-ARAUJO, A.; ORÓ, J. (1981). «Coimetary material and the origins of life on Earth». A: C. PONNAMPERUMA (ed.). *Comets and the origin of life*. Dordrecht: Reidel Publ., p. 191.
- LAZCANO-ARAUJO, A. *et al.* (1988). «On the early evolution of RNA polymerase». *J. Mol. Evol.*, núm. 27, p. 365.
- (1990). «Molecular evolution of nucleic acid polymerases». A: C. PONNAMPERUMA, C.; EIRICH, F. R. (eds.). *Prebiological self organization of matter*. Hampton, Virginia: A. Deepak Publishing, p. 219.
- LEVY, R.L. *et al.* (1970). «Organic Analysis of the Pueblito de Allende Meteorite». *Nature*, núm. 227, p. 148.
- MAR, A.; DWORKIN, J.; ORÓ, J. (1987). «Non-enzymatic synthesis of the coenzymes, uridine diphosphate glucose and cytidine diphosphate choline, and other phosphorylated metabolic intermediates». *Origins of Life*, núm. 187, p. 307.
- NOONER, D. W.; ORÓ, J. (1967). «Organic compounds in meteorites—I, Aliphatic hydrocarbons». *Geochimica and Cosmochimica Acta*, núm. 31, p. 1.359.
- PAIROLÍ, M. (1996). *Joan Oró*. Fundació Catalana per a la Recerca, La Campana.
- ORÓ, J. (1956). «C-Formate Metabolism in Animal Tissues with Special Reference to the Mechanism of Formic Acid oxidation». Baylor University College of Medicine. [*PhD Thesis*]
- (1961). «Comets and the formation of biochemical compounds on the primitive Earth». *Nature*, núm. 190, p. 389.
- (1961). «Mechanism of synthesis of adenine from hydrogen cyanide under possible primitive Earth conditions». *Nature*, núm. 191, p. 1.193.
- (1963). «Ultraviolet absorbing compounds present in the Murray meteorite». *NATURE*, núm. 197, p. 756.
- ORÓ, J.; HOLZER, G. (1979a). «The effects of the ultraviolet light on the degradation of organic compounds. A possible explanation for the absence of organic matter on Mars». *COSPAR Life Sciences and Space Research*, núm. 17, p. 77.
- (1979b). «The photolytic degradation and oxidation of organic compounds under simulated martian conditions». A: The Viking Mission and the Question of Life in Mars. *J. Mol. Evol.*, núm. 14, p. 153.
- ORÓ, J.; KAMAT, S. S. (1961). «Amino acid synthesis from hydrogen cyanide under possible primitive Earth conditions». *Nature*, núm. 190, p. 442.
- ORÓ, J.; MILLER, S. L.; LAZCANO, A. (1990). «The origin and early evolution of life on Earth». *Ann. Rev. of Earth and Planetari Sciences*, núm. 18, p. 317.

- ORÓ, J.; NOONER, D. W. (1970). «Aliphatic hydrocarbons from the Precambrian of North America and South Africa». A: HOBSON, G. D.; SPOEERS, G. C. (eds.). *Advances in Organic Geochemistry*. Oxford: Pergamon, p. 493.
- ORÓ, J.; TORNABENE, T. (1965). «Bacterial contamination of some carbonaceous meteorites». *Science*, núm. 150, p. 1.046.
- ORÓ, J. *et al.* (1959). «Aminoacid synthesis from formaldéhyde and hidroxyllamine». *Archives of Biochemistry and Biophysics*, núm. 85, p. 115.
- (1965). «Hydrocarbons of biological origin in sediments about two billion years old». *Science*, núm. 148, p. 77.
- (1966). «Paraffinic hydrocarbons in the Orgueil, Murray, Mokoia and other meteorites». *Life Sciences and Space Research*, vol. IV, Washington: Spartan Books, p. 63.
- (1970). «Organic elements and compounds in surface samples from the Sea of Tranquility». *SCIENCE*, núm. 167, p. 765.
- (1984). «The prebiotic synthesis and catalytic role of imidazole and other condensing agents». *Origins of Life*, núm. 14, p. 237.
- RAO, M.; EICHBERG, J.; ORÓ, J. (1982). «Synthesis of phosphatidylcholine under possible primitive Earth conditions». *J. Mol. Evol.*, núm. 18, p. 196.
- (1987). «Synthesis of phosphatidylethanolamine under possible primitive Earth conditions». *J. Mol. Evol.*, núm. 25, p. 1.
- SHEN, C.; MILLS, T.; ORÓ, J. (1990). «Prebiotic synthesis of hystidyl-histidine». *J. Mol. Evol.*, núm. 31, p. 175.
- SHEN, C. [*et al.*]. (1990). «Prebiotic synthesis of histidine». *J. Mol. Evol.*, núm. 31, p. 167.
- UPDEGROVE, W. S.; ORÓ, J. (1969). «Analysis of organic matter on the Moon by gas chromatography-mass spectrometry – A feasibility study». *Proceedings of the Third International Laboratory Symposium*. Ed. F.J. Malina, p.53.
- WACHI, F. M. *et al.* (1971). «Differential thermal analysis and gas release studies of Apollo 11 samples». *Icarus*, núm. 15, p. 304.
- YUASA, S. *et al.* (1984). «Abiotic synthesis of purines and other heterocyclic compounds by the action of electric discharges». *J. Mol. Evol.*, núm. 21, p. 76.