Col·legi La Salle Reus

Anells de Liesegang

(Experimentació amb gels)

Autor: Daniel Mora Romera
Crèdit: Química
Tutor: Josep Antoni Jiménez Baiget
Curs: 2008-2009

Índex

Introducció metodològica.....3
Breus apunts sobre els anells de Liesegang.....6
1. Breus apunts sobre els suports i inhibidors emprats.....9
1.1 Gelatina.....9
1.2 Gel de sílice.....11
1.3 Agar.....12
Anells de Liesegang (experimentació amb gels).....15
1. Materials i mètode general de treball.....15
2. Preparació de gels.....17
2.1. Utilitzant gelatina.....17
2.2. Gel de sílice.....18
2.3. Utilitzant agar.....19
3. Preparació de reactius.....20
4. Realització d'un experiment.....21
5. Proves.....21
5.1. Prova 1.....22
5.2. Prova 2.....22
5.3. Prova 3.....23
5.4. Prova 4.....23
5.4.1. Experiment 1.....24
5.4.2. Experiment 2.....24
5.4.3. Experiment 3.....25
5.4.4. Experiment 4.....25
5.4.5. Experiment 5.....25
5.5. Prova 5.....25
5.6. Prova 6.....26
5.6.1. Experiment 1.....26

5.6.2. Experiment 2 26
5.6.3. Experiment 3 26
5.6.4. Experiment 4 27
5.7. Prova 7 27
5.8. Prova 8 27
5.9. Prova 9 28
5.10. Prova 10 28
5.11. Prova 11 29
5.12. Prova 12 29
5.13. Prova 13 30
5.14. Prova 14 30
Conclusió 32
1. Resultats obtinguts 32
2. Anàlisi de resultats 35
3. Estudis 36
3.1. Estudi sobre les distàncies logarítmiques entre els anells 36
3.1.1. Breus apunts teòrics sobre la llei de distàncies 36
3.1.2. Promig de les cinc persones 38
3.2 Estudi sobre la velocitat de reacció 42
3.2.1. Segons la concentració de reactiu 43
3.2.2. Segons la superfície de contacte dels reactius sòlids. 44
3.2.3. Segons la presència de catalitzadors 45
3.2.4. Segons la temperatura 45
4. Similitud amb Turing 46
5. Particularitat d'alguns experiments 47
5.1. Formació de vida en alguns tubs 47
5.2. Deformació dels anells 48
5.3. Presència d'anells segons el fons 48
6. Conclusió final 49
Bibliografia 52
Annex fotogràfic 54

Introducció metodològica

El treball de recerca és la primera gran oportunitat que té qualsevol adolescent per poder estudiar i investigar sobre allò que vulgui, sense seguir una pauta establerta. Jo volia aprofitar aquesta gran ocasió per fer allò que sempre m'ha agradat més: investigar sobre temes científics i, preferiblement, desconeguts. Intentant trobar algun tema o àmbit prou important però que no hagués estat investigat profundament, vaig contactar amb el catedràtic de la Universitat Autònoma de Barcelona Francesc Piniella. Vam estar parlant sobre la qüestió durant un llarg temps i, finalment, m'aconsellà visitar una pàgina web sota la tutela de la companyia Pèndulum. Allí decidí posar-me en contacte amb els dirigents per intentar concertar una cita i demanar ajuda per trobar un tema adequat al meu desig. Després d'una animada conversa vaig aconseguir concertar-ne una pel mes de juliol.

Arribà el juliol i em dirigí cap a Terrassa, ciutat on es troba el taller de la companyia. Allí vaig conèixer la persona que m'havia d'orientar més en la realització d'aquest treball: el constructor Marc Boada i també cap de la companyia. Vam estar més d'una hora parlant sobre quins temes podien ser d'interès. Ell me'n cità uns quants tals com l'estudi dels generadors Kelvin, l'estudi dels motors homopolars o la construcció de màquines de da Vinci. Mentre manteníem aquella conversa, vaig estar observant tots els estris que m'envoltaven. Hi havia tot tipus d'objectes curiosos: infinitat de pènduls, esquelets prehistòrics, ossos d'animals, minerals... Però a mi em cridà l'atenció un d'ells i, sense menys preàmbul, li vaig preguntar de què es tractava. Em respongué que allò eren anells de Liesegang, i que tenia en ment poder estudiar-los pausadament ja que cap investigador havia tret aigua clara d'ells. Aleshores em vaig oferir per investigar el tema i realitzar el meu treball de recerca sobre els anells. Els dos vam arribar a un acord i vam tornar a concertar una cita però, aquest cop, per a l'octubre.

Ràpidament, els dies següents, vaig fer un buidat bibliogràfic complet sobre els anells de Liesegang. Va ser molt costós trobar-ne per la poca documentació que es té d'aquest experiment, però em sentí afortunat quan caigué en les meves mans la revista que em permetria posteriorment assentar una base suficientment sòlida sobre els anells de Liesegang i així poder començar la investigació. Aquest tresor fou la revista del *Investigación y Ciencia* del maig del 1977. Vaig aconseguir adquirir un exemplar entrant a la web i el vaig rebre per correu el mes següent. També vaig trobar per Internet

un altre article de gran importància, però se'm negà l'accés ja que no tenia la contrasenya pertinent. Per aquesta raó vaig demanar ajuda al catedràtic Francesc Piniella. A la setmana següent em va facilitar una fotocòpia sobre l'article i el vaig poder incorporar a la bibliografia. També em succeí el mateix amb un article sobre l'aplicació dels anells de Liesegang en malalties inflamatòries. Però aquí en Francesc no em va poder ajudar i vaig decidir enviar un mail a la pàgina web per si em podien facilitar l'article de manera gratuïta. Ho vaig aconseguir gràcies a un mail que m'envià el senyor Beverley Benn en nom de BMJ Group Customer Support. Tot i això, ràpidament em vaig adonar que els coneixements de l'article s'escapaven de l'abast d'aquest treball, de manera igual que una tesi sobre els anells d'uns doctors granadins.

En Marc, quan xerràvem sobre l'experimentació que havíem de realitzar, em va proposar experimentar amb dos compostos per intentar trobar anells. Vaig començar l'experimentació als pocs dies. Havent comprat els productes químics necessaris i els recipients pertinents en una empresa de productes químics del polígon de Constantí, vaig seguir les pautes marcades per part d'en Marc i les indicades també en la bibliografia extreta. Però després de realitzar més de cinquanta experiments, no vaig obtenir cap resultat satisfactori, exceptuant un model en espiral que més tard descobriria que seguia un patró de Liesegang esmentat per Stong.

Desesperat, vaig tornar a Terrassa a l'octubre per intentar trobar la manera de formar els desitjats anells, i vaig passar des de les vuit del matí fins a les sis de la tarda realitzant experiments amb diferents compostos. Aquell dia vaig aconseguir, amb l'ajuda incondicional d'en Marc, crear anells de Liesegang. Ara només calia realitzar variants sobre els resultats positius i aprofundir l'estudi.

Vaig ocupar una de les dues cuines de casa per dedicar-la exclusivament a l'experimentació. Allí, des del primer dia fins a l'últim, he conservat els tubs d'assaig amb els anells creats, he fet observacions, fotografies i he realitzat experiments.

Al novembre vaig decidir fer una visita a en Marc per poder seguir fent experiments. Aquest cop vaig haver de fer el viatge en tren i, com era d'esperar coneixent els ferrocarrils del país, el trajecte va durar quatre hores. Durant aquesta llarga estona vaig estar fent una llista de possibles reaccions que podíem realitzar aquell dia. Només arribar ens vam posar a fer feina i no vam acabar fins a les 6 de la tarda. Aleshores vaig haver de transportar els meus recipients dins d'una maleta durant tot el viatge, tot intentant que hi hagués el mínim moviment perquè no s'alterés la reacció.

La següent i última vegada que ens vam reunir va ser per experimentar amb agar i també per realitzar les dues últimes proves. Aquest cop va ser el 23 de desembre, com sempre, al taller de Terrassa.

Quan ja tenia tots els experiments també em vaig trobar amb un greu problema: les càmeres digitals de qualitat normal-alta no tenien suficient resolució per poder fotografiar els anells. Només una càmera de molt alta qualitat podia fotografiar-los. Per aquesta raó vaig demanar a un antic amic de l'escola que cursa un cicle formatiu de fotografia si em podia deixar la seva càmera[1] per un temps. Ell accedí, i així fou com aconseguí fotografiar perfectament els tubs d'assaig pertinents.

Una de les grans dificultats amb les que em vaig trobar va ser amb la bibliografia, ja que la majoria estava en anglès i en alemany. Per sort, jo curso aquestes dues llengües estrangeres, la qual cosa m'ha facilitat la traducció en la majoria de textos que apareixen en la bibliografia d'aquest treball. A més a més, puc assegurar que aquest treball és el primer que parla tan àmpliament sobre els anells de Liesegang en llengua catalana, ja que no he trobat gens d'informació en català que faci ni tan sols una mera referència als anells.

Els objectius d'aquest treball eren, primordialment, poder realitzar una investigació que combinés teoria amb pràctica, que m'agradés i gaudís fent-lo, que no s'hagués parlat massa sobre el tema que es tractava i, per damunt de tot, que aconseguís resultats i conclusions científicament vàlides. Jo n'estic absolutament segur que he gaudit com mai elaborant el treball i que ha estat una experiència que mai oblidaré. Pel que fa a les conclusions i a la perfecció lingüística del treball, he fet tot el que he pogut per a aconseguir-ho, encara que això queda al gust del lector.

Així que sense més dilació, desitjo de tot cor que el lector passi una bona estona llegint aquest treball i que acabi encuriosit. I, si s'anima, que intenti crear ell mateix anells de Liesegang a casa ja que, a part de ser molt senzill de fer, poden ser utilitzats com a decoració gràcies a les seves vistoses tonalitats.

Daniel Mora Romera

[1] La càmera emprada per a les fotografies ha estat una SONY α300 reflex de 10,2 megapixels.

Breus apunts sobre els anells de Liesegang[2]

Al 1855 el químic Frederic Ferdinand Runge ja va observar i mencionar un comportament estrany en una reacció de precipitació, però el seu treball va ser dut a terme massa aviat i ningú el va respectar. No va ser fins al 1896 que un químic i fotògraf alemany, Raphael Eduard Liesegang, va descobrir un rar fenomen en el moment que experimentava amb materials fotogràfics. Havia estès en un recipient de vidre una fina capa de gel de gelatina que contenia cromat de potassi. Tot seguit, va introduir un cristall de nitrat de plata al centre del gel. Als pocs dies, van créixer, expandint-se, un conjunt d'anells concèntrics, a partir del nitrat de plata.

Els anells de Liesegang[3] es formen a partir d'una reacció de precipitació, però la diferència que presenten respecte a qualsevol altra reacció de precipitació és el fet que les sals reaccionen formant anells. Però el fet més interessant és que en alguna de les reaccions, els anells formen bandes logarítmiques, d'altres periòdiques i no logarítmiques, però tot el conjunt de models realitzats mostren tots els colors de l'arc de Sant Martí. És per aquesta raó que molts matemàtics i químics han intentat estudiar la periodicitat i les bandes logarítmiques que es formen i intentar trobar un motiu pel qual es pogués explicar la formació d'aquest fenomen tan peculiar.

Molts investigadors han intentat trobar semblances entre la reacció que descobrí Liesegang i la naturalesa. Molts d'ells han observat models semblants en alguns minerals, com la limonita i la calcedònia; altres en animals, com a les ales de certes papallones policromes i les colònies de fongs en una poma[4]. Però, en canvi, cap d'ells creu que tots aquests fenòmens s'hagin donat com a conseqüència de la reacció de

[2] STONG, C. L.: "Taller y laboratorio", *Investigación y ciencia*, Maig 1977, pàgs. 108-113.
In Silico LTD.: http://www.insilico.hu/liesegang/index.html
Technische Universitat Berlin, http://wwwitp.physik.tu-berlin.de/~krug/geol_en.html
SHARBAUGH III I SHARABAUGH JR., Amandus H.: "An Experimental Study of the Liesegang Phenomenon and Crystal Growth in Silica Gels", *Journal of Chemical Education*, **66**(7), 1989, pàgs. 589-594.
[3] Fig.1.0.
[4] Fig.1.1.

Liesegang. De fet, encara cap científic ha aconseguit donar una explicació que pugui satisfer a tothom. Aquest és el misteri tan intrigant que amaga aquesta reacció, i que porta a científics i aficionats tants mals de cap.

Fer anells de Liesegang no és una tasca massa complicada. I els materials que s'han d'utilitzar tampoc són rars ni difícils de trobar. Hi ha moltes receptes per a poder crear els esmentats anells, però en aquest treball se'n recalcaran unes quantes de significatives: la reacció entre el cromat de potassi i el nitrat de plata, l'acetat de plata amb el cromat potàssic i el sulfat de coure amb el nitrat de plata. Les esmentades fins ara comparteixen una característica comuna de preparació: necessiten, per a realitzar l'experiment amb èxit, gel. Liesegang va fer el seu experiment amb gel de gelatina, però també es pot realitzar amb altres tipus de gels, com per exemple, agar, gel de plasma sanguini, coagulats derivats de la cel·lulosa i gel de sílice. El més comú emprat pels científics per a realitzar aquests tipus d'experiments és el gel de sílice, així doncs trobarem la majoria de documentació sobre experiments d'anells de Liesegang realitzats amb aquest tipus de gel.

Molts investigadors han observat que també podem aconseguir dur a terme l'experiment amb èxit mitjançant la llum solar[5], encara que també es necessiti realitzar un compost amb gel.

Però no tots els experiments per aconseguir crear anells de Liesegang han de realitzar-se amb gels. Investigadors han volgut demostrar que la presència de gel en les roques esquerdades no era indispensable per a la creació d'anells de Liesegang, tal i com es demostra realitzant l'experiment entre dos portaobjectes de vidre, on apareixen anells irregulars. Però és un dels experiments més costós i difícil de realitzar amb èxit.

Una altra bona manera de demostrar el fet que no es necessita gel per a poder realitzar l'experiment és mitjançant com a medi l'aire. Es produeix quan els vapors de l'àcid clorhídric i d'hidròxid amònic es difonen a l'interior d'un tub llarg de vidre partint dels extrems oposats.

Les configuracions de Liesegang apareixen com anells o bandes, però algunes són figures simètriques. Si tracéssim una línia recta sobre l'eix simètric de la figura, obtindríem dues imatges especulars que s'assemblen a les petjades d'alguns organismes. Per aquesta mateixa raó, i també pel fet que el cos de les cèl·lules vives contenen gel, molts investigadors (sobretot biòlegs) han suggerit la possibilitat que el fenomen de

[5] Aquest és el cas de la reacció produïda amb silicat de sodi i clorur d'or groc

Liesegang pogués tenir significació biològica. Ja Darwin va descriure unes configuracions de color a molts organismes. Liesegang va estar temptat d'explicar les ja esmentades configuracions com exemples de precipitacions periòdiques tot dient: "Ja que cap guarniment és més bonic que els ocels de les plomes de diversos ocells, que els abrics vellosos de certs mamífers, que les escates dels rèptils i els peixos, que la pell dels amfibis, que les ales de molts lepidòpters i altres insectes, mereixen ser destacats d'una manera especial[6]. Un ocel consisteix en una taca dins d'un anell d'un altre color, com la pupil·la dins l'arc de Sant Martí, però la taca central està freqüentment envoltada de zones concèntriques addicionals"[7].

Darwin va descriure una papallona nocturna de l'Àfrica del Sud en la qual podem observar un magnífic ocel que ocupa quasi la totalitat de la superfície de les ales posteriors. Encara que desconeixem les etapes per les que es formen aquests adorns meravellosament bells i complexes, el procés ha estat probablement senzill.

No s'han produït massa models de Liesegang amb reactius orgànics, però alguns investigadors han induït la precipitació periòdica de compostos fent reaccionar substàncies inorgàniques amb compostos orgànics. Aquesta idea de poder trobar bandes de Liesegang en compostos orgànics ha estat donada per la presència de gel com a medi de reacció dins aquests tipus de compostos.

Com hem observat, la base amb la qual es duen a terme totes les reaccions per aconseguir crear anells de Liesegang és el gel, és a dir, un sistema col·loïdal que es presenta en forma de massa gelatinosa i té un comportament semblant al d'un sòlid elàstic. El fet de ser un sistema col·loïdal implica que la substància dispersa en un medi no pot travessar les membranes de diàlisi[8].

Distingim diferents tipus de gels segons els seus components i la seva preparació: a partir de gelatina, gel de sílice i agar.

1. Breus apunts sobre els suports i inhibidors emprats

Un catalitzador és una substància (element químic, compost o mescla) que fa augmentar considerablement la velocitat d'una reacció química determinada.

[6] Fig.1.2.
[7] STONG, C. L., op. cit., pàg.112
[8] Separació de soluts segons llur velocitat de difusió a través d'una membrana natural o artificial.

Els catalitzadors d'aquest treball, en canvi, en lloc d'augmentar la velocitat d'una reacció, la disminueixen. Per aquesta raó reben el nom de catalitzadors negatius o inhibidors. Aquest, encara que no ho sembli, és el punt clau per realitzar amb èxit la reacció de Liesegang.

El que provoca la disminució de la velocitat de reacció i la conseqüent formació d'anells és l'inhibidor que utilitzem. A més a més, al gelificar el compost diluït, s'aconsegueix que aquest serveixi de suport per dipositar el reactiu. D'aquesta manera s'extreu una doble funció de la gelificació del compost: la funció de suport del reactiu i la funció de disminuir la velocitat de reacció, les quals són indispensables per realitzar l'experimentació de Liesegang amb èxit.

1.1. Gelatina[9]

La gelatina[10] és una substància d'origen animal formada per proteïnes i utilitzada en alimentació. S'extreu de pells, ossos i altres teixits animals mitjançant un tractament amb àlcalis[11] o amb àcids. És molt fàcil de digerir i encara que sigui 100% proteïna el seu valor nutritiu és incomplet al ser deficient en certs aminoàcids essencials. Dins el comerç es pot trobar preparada juntament amb sucre, colorants i potenciadors de sabor.

La gelatina seca, al posar-la en contacte amb un líquid, s'infla. A l'escalfar el líquid es forma un sol[12] amb el líquid com a dispersant. A mesura que es refreda el sistema, la viscositat del fluid augmenta i acaba solidificant, formant un gel definit anteriorment. L'estat de gel és reversible a l'estat de sol si s'incrementa la temperatura.

De les fruites s'extreuen substàncies molt semblants a la gelatina, però acaben solidificant-se espontàniament com a resultat d'un polisacàrid complex anomenat pectina.

S'empra en sectors industrials i en productes molt diversos, on desenvolupa, d'una manera natural, el seu efecte saludable i estabilitzador. Té moltes aplicacions en molts àmbits. A la indústria alimentària, és una proteïna de primera qualitat que reuneix,

---

[9] COROMINAS, Josep, http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/Rc-43/Rc-43.htm
Gelatine Manufacturers of Europe, http://www.gelatine.org/es
Universitat Rovira i Virgili, http://www.quimica.urv.es/

[10] La gelatina es ven en sobres que contenen làmines transparents o amb colorants.

[11] Nom de les substàncies bàsiques que formen les sals amb els àcids; s'aplica sobretot als hidròxids, de manera molt especial als metalls alcalins i a l'amoníac, i de vegades a algunes amines.

[12] Sistema col·loïdal consistent en la dispersió d'un sòlid en un líquid. Un bon experiment per a confirmar el sistema col·loïdal de la gelatina és enfocar aquesta amb un làser. Observarem com la llum despresa pel làser rebota amb la superfície del gel.

com aliment, nombroses propietats positives necessàries per a una alimentació saludable. Gràcies al seu singular poder gelificant, és impossible imaginar la cuina actual amb la seva absència. També té un important ús dins la indústria farmacèutica, ja que cobreix i protegeix els medicaments. I no hem d'oblidar la seva indispensable aplicació a la indústria fotogràfica ja que, gràcies a la gelatina, es poden fabricar pel·lícules per aficionats, paper en color, pel·lícules fotogràfiques i pel·lícules de raigs X a escala industrial.

Però també té altres aplicacions, fruit del seu singular poder gelificant, que la fa component essencial d'una gran varietat de productes. I amb les seves múltiples propietats ofereix un considerable potencial per crear productes innovadors en totes les àrees de la vida[13].

Actualment s'està investigant molt per poder aplicar les propietats característiques de la gelatina en molts àmbits per al seu desenvolupament. M'agradaria destacar-ne dues d'essencials:

1. El primer és l'ús de la gelatina per a la teràpia de cèl·lules mare. Com ja se sap en aquests últims anys, la implantació de cèl·lules mare al cos humà és una oportunitat per sanar diverses malalties i recuperar la salut. Quan es cultiven cèl·lules mare, sempre es requereix una superfície on es puguin adherir. Moltes vegades s'utilitzen partícules de làtex, poliestirè i inclús de vidre. Les cèl·lules mare s'implanten juntament amb el material que servirà de suport adherent. Com a conseqüència de què aquests materials esmentats no són biodegradables, poden produir-se efectes secundaris no desitjats. La gelatina, essent una matèria auxiliar important, pot emprar-se per a desenvolupar la teràpia de cèl·lules mare. És especialment apropiada ja que la seva compatibilitat biològica és excel·lent i es degrada completament en un cos. Aquest nou mètode amb gelatina és considerat un essencial progrés en al teràpia de cèl·lules mare. Els primers èxits s'han vist ja en el tractament de pacients amb Parkinson.

[13] Alguns exemples són l'ús de gelatina per a detergents i productes de neteja, com a fertilitzant per fulles, per a la producció de llumins, l'augment de resistència del paper a la humitat, restauració de llibres, per la purificació del zinc i el cadmi, i com a cola elàstica per a la restauració d'edificis com, per exemple, l'òpera Sémper de Dresde un dels teatres musicals més bells d'Europa, o el pont d'Alexandre III, el més gran de París.

2. Un altre ús important d'aquest producte per a la millora de l'eficàcia en certs àmbits és en la lluita contra les marees negres. Si ens trobéssim en un cas d'un accident d'un petroler on s'han abocat al mar milers de litres de petroli que, òbviament, contamina l'aigua, la gelatina podria ser de gran ajuda en un futur pròxim. Per què? El principi bàsic és simple: el petroli i l'aigua no es barregen. Afegint un emulsionant, per exemple, agents tensoactius[14], s'obté una suspensió de petroli en aigua. Amb ella, es formen petites gotes de petroli que floten a l'aigua. La fase freda es converteix en estat de gel si s'afegeix l'àrid gelatina. El resultat són sistemes aptes per tallat, de forma estable i aptes per a ser emmagatzemats durant molt temps. En el cas que s'espatlli un petroler es podria evitar una catàstrofe ambiental transformant el petroli expulsat en una massa que pot partir-se gràcies a la gelatina. Fins avui aquest procés només ha estat estudiat en sistemes tancats. A mar obert, és una feina molt més difícil la de generar un gel compacte i reversible. Però la investigació moderna sobre la gelatina està també treballant en aquest problema.

També trobem altres aplicacions de la gelatina per al sanejament d'edificis sense sobrecarregar la salut i per la creació de menjar funcional.

1.2. Gel de sílice[15]

El gel de sílice és una forma granular i porosa creada a l'afegir àcid acètic a una solució de silicat de sodi, denominada comunament vidre soluble. La seva gran porositat, al voltant de 800 m²/g, el converteix en un absorbent d'aigua. Per aquest motiu s'utilitza per a reduir la humitat en espais tancats, normalment fins un quaranta per cent. És un producte que es pot regenerar una vegada saturat si se li aplica una temperatura d'entre 120 i 180 Cº. Escalfant-lo expulsarà la humitat que hagi absorbit i així es podrà reutilitzar diverses vegades sense que això afecti la capacitat d'absorció. Aquesta només serà afectada pels contaminants que posseeixi el fluid absorbit.

[14] Els agents tensoactius són compostos químics que en dissoldre's en aigua o en algun altre dissolvent, s'orienten en les interfases sòlid/líquid o líquid/gas de manera que modifiquen les propietats de la interfase.

[15] http://www.quiminet.com.mx
STONG, C. L., op. cit., pàg.109
Universitat Rovira i Virgili, pàgina web citada.
SHARBAUGH III I SHARABAUGH JR., Amandus H., op.cit. pàg. 589

Aquest gel no és tòxic, ni inflamable ni químicament reactiu. Tot i això, les petites bosses de boletes de gel, porten un avís de toxicitat en cas d'ingestió. Es deu a que el clorur de cobalt que se sol afegir per a indicar la humitat del gel, sí que és tòxic. El clorur de cobalt reacciona amb la humitat, quan està sec és de color blau i es torna rosa quan absorbeix la humitat.

El gel de sílice és un producte absorbent, catalogat com el de major capacitat d'absorció dels que es coneixen actualment. Gràcies a la seva composició químicament única i a la seva estructura física, posseeix unes característiques incomparables amb altres materials similars, per exemple l'alta absorció, el funcionament termal estable, la força mecànica relativament alta, etc.

Segons el diàmetre del porus es classifica com porus fi i macro porós, cadascun d'ells amb una capacitat diferent d'absorció en funció de la humitat relativa, per la qual cosa l'elecció del tipus deu ajustar-se segons les condicions d'ús.

Les principals aplicacions del gel de sílice són: en la dessecació estàtica, en la dessecació dinàmica, en la deshidratació de líquids, en l'absorció i separació de substàncies, com a catalitzador i en l'anàlisi i proves químiques.

1.3. Agar[16]

L'agar, o agar-agar, és un polisacàrid que s'obté a partir de diverses espècies d'algues vermelles (divisió Rhodophyceae) dels següents gèneres: Gelidium, Gracilaria, Pterocleda, Ceramium, Gigartína. El nom tradicional japonès per aquest producte és *kanten.* La paraula "agar" que s'utilitza actualment procedeix del malai, i fa referència a un altre gel diferent, obtingut tradicionalment d'aquella zona a partir de *Eucheuma muricatum.* Al segle XIX, els emigrants xinesos van portar a Malàisia el producte japonès, adaptant-li el nom local del gel d'algues. Quan el *kanten* japonès va passar a Europa, ho va fer amb el nom malai d'agar. Al llistat d'additius alimentaris de la Unió Europea, l'agar és el E-406.

Presenta les següents característiques:

1. És un hidrocol·loide completament soluble en aigua a 100ºC.
2. Es pot dissoldre a baixes temperatures.
3. En contacte amb aigua freda s'infla i pot augmentar fins a 30 vegades el seu volum.

[16] Casa Pià: http://www.casapia.com/
CALVO, Miguel: http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/agar.html
http://www.cocineros.info/mundial/product.php?productid=816&partner=jocooking

4. No aporta sabor ni aroma i no té color.
5. És un poderós agent gelificant.
6. És un gel que pot invertir el seu estat segons la temperatura.
7. Gelifica entre 35ºC i 43ºC i es fon entre 85ºC i 95ºC.
8. No aporta calories.
9. És lleugerament saciant i laxant.
10. És l'únic hidrocol·loide que ofereix gelatines que poden suportar temperatures d'esterilització.

Per obtenir l'agar, les algues es bullen. El líquid resultant es filtra, es decolora i es liofilitza, quedant convertit en una matèria seca. A l'afegir a un líquid calent agar deshidratat, es forma una massa que, quan es refreda, es torna gelatinosa.

Té nombroses aplicacions culinàries, gràcies a l'eficàcia d'aquesta gelatina com a espessant i com a estabilitzadora. La importància de l'agar resideix en què constitueix l'alternativa vegetal a les gelatines d'origen animal, elaborades a partir d'ossos. L'agar, a més a més, presenta una capacitat espessant molt elevada, fins a vuit vegades més gran que les gelatines animals. A la indústria alimentària també s'utilitza amb freqüència amb flams, iogurts, gelats, xarrups, xarops, sopes, gelees, maioneses, conserves, pastissos, salses... pel fet d'aportar una consistència adequada a tot tipus de productes, sense sabor i sense calories, novament amb l'objectiu de substituir les gelatines convencionals de procedència animal.

Alguns altres àmbits on l'agar és útil són: en l'estomatologia, dins la cosmètica, per crear medis de cultiu, a la indústria del paper i d'adhesius, etc.

L'agar pot presentar efectes beneficiosos com a complement dietètic sobre l'organisme humà, pel fet de ser una fibra soluble, no absorbible. Gràcies a la seva capacitat de retenció d'aigua i de formació de gels, facilita l'evacuació intestinal. Per aquesta raó pot constituir un bon laxant suau. També dificulta la reabsorció de colesterol i toxines al còlon. Tanmateix, és adequat per a persones que segueixen dietes de control de pes. A més a més, pot aportar oligoelements importants per a la salut (àcid fòlic, magnesi i iode).

L'agar el podem adquirir en forma de barres, filaments, cóps i pols[17] entre altres.

[17] Fig.1.11. Serà el que utilitzarem en el nostre experiment.

Anells de Liesegang (experimentació amb gels)[18]

1. Materials i mètode general en aquest treball

Amb l'objectiu de fer més senzilla la lectura d'aquest treball, dividirem el treball en diferents proves. Dins de cada prova farem una explicació explícita del material necessari i el mètode pertinent per poder-la realitzar amb èxit.

Però abans d'endinsar-nos en cada prova específica, es necessitaran uns materials indispensables comuns a totes les proves a realitzar:

1. Una balança capaç de pesar quantitats com a mínim de 0,1 grams.
2. Un vas amb la marca de 100 ml de capacitat.
3. Dues pipetes Pasteur, una amb marques d'un ml de diferència, i l'altra amb marques de 10 ml de diferència.
4. Pipetes[19] amb divisions d'1 ml o , encara millor, de 0,1 ml.
5. Disposar d'una quantitat considerable de tubs d'assaig. Els tubs d'assaig cal que siguin de 120 mm d'alçada i entre 16 i 20 mm de diàmetre[20].
6. Una capsa plena de guants farcits de pólvores de talc per a evitar el contacte amb els productes químics que s'utilitzaran.
7. Un microones o una olla, amb el pertinent foc, per a escalfar l'aigua.
8. Un termòmetre.
9. Diversos suports per a subjectar les provetes.
10. Una nevera.

[18] STONG, C. L., op. cit., pàg.109-113.
In Silico LTD., pàgina web citada.
SHARBAUGH III I SHARABAUGH JR., Amandus H., op. cit.
Explicació verbal per part d'especialistes.

[19] No es pot esmentar una quantitat exacta, però com més pipetes tinguem per a realitzar els experiments, millor. Jo utilitzaré unes pipetes de plàstic que poden llançar-se després del seu ús. Fig.2.4.

[20] Aquestes mides corresponen a la mida estàndard dels tubs d'assaig que utilitzarem quan realitzem experiments sense estudiar la influència del diàmetre en la reacció. Quan es doni el cas corresponent, esmentarem les mides de les provetes específiques.

Tots els objectes hauran de ser rentats a consciència al finalitzar l'experiment, ja que es necessita la màxima absència de partícules dins dels nostres estris per poder realitzar les proves amb èxit.

Taula 1

g	Grams	M	Molar
ml	Mil·lilitres	V	Volts
ºC	Graus Celsius	mm	Mil·límetres

En aquesta taula s'exposen les diverses nomenclatures que s'utilitzaran en aquest treball. A la part dreta apareix l'abreviatura emprada i a la part esquerra apareix el nom complet respectiu a cada abreviatura.

Taula 2

a	Sulfat de coure II $CuSO_4$	e	Nitrat de plom II $Pb(NO_3)_2$
b	Nitrat de coure II $Cu(NO_3)_2$	f	Nitrat d'estronci $Sr(NO_3)_2$
c	Nitrat de plata $AgNO_3$	g	Sulfat de magnesi $MgSO_4$
d	Bromur de potassi KBr	h	Hidròxid amònic NH_4OH

Per a la millor organització de les provetes, s'ha assignat una lletra minúscula per a cada compost utilitzat com a reactiu. La base serà assenyalada amb el número de la prova o amb el seu nom. Les relacions entre els compostos i les lletres són les exposades en la taula adjunta en la part superior d'aquest paràgraf.

Els compostos emprats en les diferents proves pot ser que apareguin hidratats, però l'autor d'aquest treball, seguint el consell d'experts en la matèria, ha decidit ignorar la hidratació d'aquests, ja que sempre s'acaben dissolvent els productes amb aigua.

2. Preparació de gels[21]

També comparteixen tots els experiments la preparació de gels[22], realitzats uns amb gelatina, uns altres amb gel de sílice i els darrers amb agar-agar. Per aquesta mateixa raó, s'explicaran els passos seguits per formar els gels de les tres diferents maneres en aquest treball. Sempre es preparen gels de mínim 100 ml. Quan ja no es necessiti més gel, s'abocaran les restes a l'aixeta o a una galleda quan encara es trobin en estat líquid. Si es necessita preparar més quantitat de gel, només caldrà fer les conversions necessàries per a la quantitat concreta que necessitem.

2.1. Utilitzant gelatina[23]

Aquest és el tipus de gel que farem servir normalment en els experiments realitzats, i també és el que va utilitzar el descobridor del fenomen, Raphael Eduard Liesegang, en el seu experiment. És molt senzill de preparar i no necessita massa exactitud pel que fa a concentracions. Necessitarem els següents estris:

- Un microones o una olla[24].
- Una nevera amb l'espai lliure necessari.
- Un matràs de més de 100 ml de capacitat[25].
- 100 ml d'aigua[26].
- 4 g de gelatina.
- Una espàtula.

Quan ja disposem d'aquests estris, comencem a realitzar la preparació. Primer, abocarem 100 ml d'aigua al matràs[27]. Posarem aquest vas dins el microones durant,

[21] Explicació verbal per part d'especialistes.
[22] Durant tot el treball trobarem que s'anomena "base" al gel. Aquesta ha estat una decisió de l'autor d'aquest treball a l'observar que no existia cap altre nom per al compost diluït i gelificat. Molts llibres i articles l'anomenen electròlit interior, però anomenen només així al compost en estat sòlid, és a dir, no diluït. L'autor d'aquest treball ha triat aquest nom perquè el gel ens serveix com a suport i ens dóna consistència a l'experiment, evitant així que sigui líquid. Per aquesta raó s'ha decidit anomenar-lo base, perquè serà el gel on s'abocarà el reactiu i servirà de base d'aquest.
[23] COROMINES, Josep: pàgina web citada.
[24] En aquest cas, també un lloc on escalfar l'olla.
[25] Si utilitzem microones, cal que sigui apte per poder ser introduït en ell.
[26] Sempre que parlem d'aigua serà destil·lada i, a ser possible, de bona qualitat per evitar falles per la puresa d'aquesta.
[27] Necessitarem que aquest recipient sigui d'un material adequat per ser introduït al microones, ja que nosaltres farem servir aquest aparell per escalfar l'aigua. Si preferim escalfar-la amb fogons, podem utilitzar qualsevol olla o recipient metàl·lic.

aproximadament[28], tres minuts. No hem de deixar que l'aigua bulli, així que podem anar comprovant la temperatura fins aconseguir aproximadament els 60 ºC òptims per a l'experiment. Tot seguit, introduirem els quatre grams de gelatina dins del matràs. Una recomanació[29] és deixar reposar la gelatina, abans d'abocar-la, en un plat amb aigua destil·lada. Amb això aconseguirem que les fulles s'estovin i siguin més fàcils de diluir. Amb l'ajuda de l'espàtula, remenarem la gelatina fins que aconseguim que no quedi cap tros sòlid a l'interior[30]. Quan arribem a aquest punt, col·locarem el matràs dins de la nevera. Només caldrà esperar una o dues hores per obtenir una massa gelatinosa satisfactòria.

Per aquest treball, s'abocarà la solució quan encara no hagi gelificat dins dels recipients que triem per al nostre experiment.

2.2. Gel de sílice[31]

Aquest és el més comunament utilitzat per realitzar l'experiment, però paradoxalment és del que menys documentació es troba pel que fa a la preparació específica i senzilla.

Presenta una certa dificultat de preparació, sobretot per les concentracions. Necessitarem els següents estris:

- Dos vasos de més de 100 ml de capacitat.
- 100 ml d'aigua.
- 6 g de silicat de sodi (Na_2SiO_3)
- 100 ml d'àcid acètic concentrat (CH_3COOH).
- Un recipient de més de 200 ml de capacitat.

Primer de tot, introduïm dins del primer vas petit els 100 ml d'aigua i hi afegim els 6 g de silicat de sodi. Al segon vas petit, hi introduïm els 100 ml d'àcid acètic concentrat. Tot seguit, quan ja estigui el silicat de sodi totalment dissolt, aboquem els

[28] No es pot citar amb precisió el temps exacte que el recipient ha de romandre dins el microones, ja que aquests aparells tenen potències diferents. Però només cal comprovar que obtenim la temperatura demanada amb el termòmetre.
[29] Realitzada pel famós cuiner Ferran Adrià.
[30] En aquest moment és quan s'ha d'introduir el compost químic que hàgim triat. Tot seguit, hem de comprovar de no deixar petites bombolles en la superfície del gel per evitar anomalies en els anells.
[31] STONG, C. L., op. cit., pàg.109.
WEAVER, Terry L.; THATCHER, Robert C.:
http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=186844
http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20071026102857AAwC3Aj
Journal of Chromatographic Science: http://www.chromatography-online.org/topics/silica/gel.html
SHARBAUGH III I SHARABAUGH JR., Amandus H., op. cit. pàg. 589

líquids que contenen tots dos vasos dins del recipient gran[32]. Si hem seguit els passos correctament, el líquid gelificarà en menys d'una hora.

Aquest és el procediment comú per preparar gel de sílice, però en aquest treball hem intentat realitzar amb èxit l'experiment variant les concentracions, treballant amb pautes diferents a les seguides en l'article esmentat a la bibliografia de Stong. Per a realitzar la nostra preparació s'ha utilitzat:

- Dos vasos de més de 100 ml de capacitat.
- 60 ml d'aigua.
- 6 ml de silicat de sodi (Na_2SiO_3)[33].
- 60 ml d'àcid acètic concentrat (CH_3COOH).
- Un vas de més de 200 ml de capacitat.

El procediment de preparació és igual que el citat anteriorment, però hem de recordar d'abocar fora del nostre experiment 5 ml de solució de silicat de sodi i aigua, ja que no els necessitem per realitzar-lo.

També existeixen altres maneres d'aconseguir gel de sílice, algunes de les quals apareixen a les pàgines web de la bibliografia, però no ens interessa centrar-nos en altres mètodes de preparació.

Per aquest treball, s'abocarà la solució quan encara no hagi gelificat dins dels recipients que triem per al nostre experiment.

2.3. Utilitzant agar[34]

Per últim, utilitzarem com a darrer gelificant l'agar-agar. Per la seva preparació necessitarem gairebé els mateixos estris que en la preparació de gel mitjançant gelatina. Aquests són els següents:

- Un microones o una olla[35].
- Una nevera amb l'espai lliure necessari.
- Un vas de més de 100 ml de capacitat[36].
- 100 ml d'aigua[37].

[32] En aquest punt aboquem també el compost químic triat.
[33] Com es pot observar, en el nostre experiment només disposem de silicat de sodi líquid, però molt concentrat.
[34] CALVO, Miguel: pàgina web citada.
Casa Pià: pàgina web citada.
[35] En aquest cas, també un lloc on escalfar l'olla.
[36] Si utilitzem microones, cal que sigui apte per poder ser introduït en ell.

- 4 g d'agar.[38]
- Una espàtula.

La seva preparació també és molt semblant, per no dir igual, a la realitzada utilitzant gelatina. Primerament, posarem els 100 ml d'aigua al vas. Tot seguit, el col·locarem dins del microones durant, aproximadament[34], tres minuts. La temperatura òptima en el cas de l'agar per la seva total dissolució es troba entre 85ºC i 95ºC. Podem comprovar amb el termòmetre la temperatura per tenir més seguretat. Seguidament, amb l'aigua quasi bullint, introduirem els 4 g d'agar dins del vas i remenarem amb l'espàtula fins aconseguir la dissolució total d'aquest. Fet això, es col·loca la solució dins de la nevera perquè gelifiqui més ràpidament, encara que a l'aire lliure gelificaria en arribar entre els 35ºC i 43ºC.

Per aquest treball, s'abocarà la solució quan encara no hagi gelificat dins dels recipients que triem per al nostre experiment.

3. Preparació de reactius[39]

Sempre utilitzarem les mateixes mesures per preparar els reactius[40], excepte quan vulguem variar expressament la concentració per observar el comportament. Per la preparació dels reactius necessitarem els següents materials:

- Una proveta o tub d'assaig qualsevol.
- 10 ml d'aigua
- 1 g del compost químic triat.

El mètode és senzill. Necessitem abocar els 10 ml d'aigua dins de la proveta i, posteriorment, introduir el gram de compost que hàgim triat. Sacsejant la proveta aconseguirem dissoldre totalment el compost i així obtenim el reactiu.

[37] Sempre que parlem d'aigua serà destil·lada i, a ser possible, de bona qualitat per evitar falles per la puresa d'aquesta.
[38] No s'ha trobat cap llibre ni pàgina web fiable que doni una mesura precisa d'agar per a diluir-lo amb aigua. Per aquesta mateixa raó, l'autor del treball imitarà el pes emprat per la gelatina en el cas de l'agar.
[39] Explicació verbal per part d'especialistes.
[40] Per a la millor comprensió i per la manca d'un nom específic, l'autor d'aquest treball ha decidit anomenar reactiu al compost diluït que s'aboca damunt del gel. Molts llibres i articles l'anomenen "electròlit exterior", però només anomenen així al compost quan es troba en estat sòlid, és a dir, no diluït. Per aquesta raó no es podrà usar tampoc aquest nom per anomenar-lo.

4. Realització d'un experiment

Quan ja tenim el gel preparat i el reactiu dins de la proveta, abocarem el reactiu sobre la superfície del gel. Seguidament, col·locarem el recipient que conté l'experiment en un lloc on no pateixi cap tipus d'alteració ambiental ni cap moviment.

5. Proves[41]

Taula 3

Prova 1	Dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 2	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i sulfat de coure II ($CuSO_4$).
Prova 2	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$).
Porva 2	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 2	Cromat potàssic (K_2CrO_4) i bromur de potassi (KBr).
Prova 2	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$).
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i sulfat de coure II ($CuSO_4$).
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$).
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i bromur de potassi (KBr).
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$).
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i nitrat d'estronci ($Sr(NO_3)_2$).
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i sulfat de magnesi ($MgSO_4$).
Prova 4	Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i bromur de potassi (KBr).
Prova 4	Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$).
Prova 4	Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i cromat de potassi (K_2CrO_4).
Prova 4	Nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) i bromur de potassi (KBr).
Prova 4	Nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) i dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$).
Prova 4	Nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) i cromat de potassi (K_2CrO_4).
Prova 4	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plom ($Pb(NO_3)_2$).
Prova 4	Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 4	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 5	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 6	Sulfat de magnesi ($MgSO_4$) i hidròxid amònic (NH_4OH).
Prova 6	Clorur de magnesi ($MgCl_2$) i hidròxid amònic (NH_4OH).
Prova 6	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 6	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$).
Prova 7	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 8	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 9	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 10	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 11	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 12	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).
Prova 13	Dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$) i sulfat de coure II ($CuSO_4$).
Prova 14	Clorur de magnesi ($MgCl_2$) i hidròxid amònic (NH_4OH)

[41] La tria de compostos s'ha fet de manera conjunta per l'autor del treball i l'especialista en anells de Liesegang Marc Boada. L'objectiu no era només realitzar anells amb receptes conegudes, sinó també trobar d'altres i alterar les condicions d'aquestes.

Prova 14	Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$)

5.1. Prova 1[42]

En aquesta prova s'intentarà obtenir anells de Liesegang a partir de la reacció entre el dicromat potàssic ($K_2Cr_2O_7$) i el nitrat de plata ($AgNO_3$). Per poder-la realitzar amb èxit s'han utilitzat els següents materials:

- Gel preparat mitjançant gelatina amb 0,2 g de dicromat potàssic ($K_2Cr_2O_7$).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 8 tubs d'assaig. 4 amb un diàmetre variat i els altres 4 amb diàmetre estàndard.

Els tubs de diàmetre variat els necessitem per estudiar l'efecte de la superfície de contacte en la reacció, i també si això influeix en els anells.

5.2. Prova 2

En aquest cas intentarem obtenir anells mitjançant la reacció entre el cromat potàssic (K_2CrO_4) i els cinc compostos següents com a reactius: sulfat de coure II ($CuSO_4$), nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$), nitrat de plata ($AgNO_3$), bromur de potassi (KBr) i nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$). Per la seva preparació s'han utilitzat els següents materials:

- Gel preparat mitjançant gelatina amb 0,2 g de cromat potàssic (K_2CrO_4).
- Reactius indicats anteriorment[43].
- 5 tubs d'assaig, tots de diàmetre estàndard.

En aquesta prova el nostre objectiu és descobrir si el cromat de potassi forma anells al reaccionar amb el sulfat de coure II si aquest és reactiu i no base. També s'ha intentat buscar intuïtivament[44] altres compostos que comparteixin similitud amb el sulfat de

[42] Aquesta reacció no surt a cap llibre o revista que s'hagi consultat, però s'ha deduït a l'observar reaccions productives amb el cromat potàssic.
[43] Sempre que es parli de"reactius indicats anteriorment" es fa referència als esmentats en la mateixa prova, no en altres.
[44] Com es pot observar, l'ús de la intuïció en aquest treball és habitual en totes les proves. Però això ho provoca la poca documentació que hi ha sobre el tema i els pocs estudis que s'han realitzat sobre aquest ja que, com s'ha explicat als "Breus apunts sobre els anells de Liesegang", cap investigador no ha descobert encara el patró que segueix el fenomen que provoca la creació d'anells. Així que l'autor d'aquest treball demana disculpes per la possible incredulitat que pugui crear al lector, però proposo esperar fins obtenir resultats, ja que aquests poden sorprendre. A mes a més, les errades faciliten que no es torni a errar en el mateix. Tot i això, proposo revisar la tesi cartesiana sobre l'ús de la intuïció, ja que comparteixo totalment la seva opinió sobre la qüestió i he intentat dur-la a la pràctica en el moment de màxima inspiració, seguint les seves recomanacions. Proposo consultar:
GIL VERNET, Jordi: *Filosofia II,* Reus, Editorial desconeguda, juliol 2006.

coure i el nitrat de plata, dels quals tenim documentació que afirma l'eficàcia en l'experiment de Liesegang, i que reaccioni amb el cromat de potassi. Així s'intentarà trobar una nova recepta per crear els anells.

5.3. Prova 3

Cercarem la reacció de Liesegang amb el clorur de sodi, també denominat sal comuna (NaCl), reaccionant amb set reactius diferents: sulfat de coure II ($CuSO_4$), nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$), nitrat de plata ($AgNO_3$), bromur de potassi (KBr) i nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$), nitrat d'estronci ($Sr(NO_3)_2$) i sulfat de magnesi ($MgSO_4$). Per a preparar-ho necessitarem els següents materials:

- Gel preparat mitjançant gelatina amb 0,4 g de clorur de sodi (NaCl).
- Reactius indicats anteriorment.
- 7 tubs d'assaig, tots de diàmetre estàndard.

Amb aquest experiment s'intentarà trobar el rar fenomen amb una base orgànica, i així poder demostrar que els anells poden tenir una estreta relació amb els éssers vius. Si s'aconseguís crear anells de Liesegang amb aquest experiment ens estaríem apropant a una possible resposta a la pregunta que es fan molts investigadors des de fa anys sobre els fenòmens similars als dels anells de Liesegang que es presenten en el medi natural. A més a més, el clorur de sodi reacciona líquidament amb tots aquests compostos químics, i la formació d'anells, potenciada per la gelificació, podria resultar ser un èxit. Si durant els dos primers dies no notéssim cap millora en la reacció ni en la formació d'anells, podem aplicar una diferència de potencial entre la base i el reactiu fent un forat al tub i al tap de la proveta i col·locant-hi un fil de coure a cada forat connectat a una pila de 4,5 V.

5.4. Prova 4

Prepararem quatre experiments diferents dins de la prova 4. La particularitat que comparteixen tots ells és el fet que els col·locarem tots completament a les fosques per veure la seva evolució i per comprovar si existeix una diferenciació entre les proves realitzades en contacte amb llum solar i les que han estat absents d'aquesta.

5.4.1. Experiment 4.1.

El primer serà fer reaccionar el sulfat de coure II ($CuSO_4$) gelificat amb el bromur de potassi (KBr), cromat potàssic (K_2CrO_4) i amb el dicromat potàssic ($K_2Cr_2O_7$). Necessitarem els següents materials:

- Gel preparat mitjançant gelatina amb 0,2 g de sulfat de coure II ($CuSO_4$).
- Reactius indicats anteriorment.
- 3 tubs d'assaig, tots de diàmetre estàndard.

En molts llocs s'ha trobat informació fiable esmentant l'eficàcia que té el cromat de potassi per formar anells de Liesegang quan reacciona amb el sulfat de coure. Per aquesta mateixa raó, s'ha intentat trobar composts que presentin similituds amb el cromat de potassi, intentant així trobar altres receptes per aconseguir els desitjats anells i també intentar relacionar dos components químics que presentin certa afinitat sempre per poder realitzar l'experiment amb èxit.

5.4.2. Experiment 4.2.

En segon lloc, intentarem produir-los amb èxit fent reaccionar nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) amb els mateixos reactius que en l'experiment 1: bromur de potassi (KBr), cromat potàssic (K_2CrO_4) i amb el dicromat potàssic ($K_2Cr_2O_7$). Necessitarem els materials utilitzats també en l'experiment anterior:

- Gel preparat mitjançant gelatina amb 0,2 g de nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$).
- Reactius indicats anteriorment.
- 3 tubs d'assaig, tots de diàmetre estàndard.

En aquest cas, hem intentat trobar similituds amb la base de sulfat de coure que, com ja hem observat a l'experiment 1, reacciona positivament amb el cromat de potassi. En aquest cas el triat ha estat el nitrat de coure i li intentarem aplicar els mateixos reactius que al sulfat de coure II.

Amb els experiments 1 i 2 posem en pràctica el mètode deductiu[45], trobant altres camins a partir d'un coneixement segur. El mètode científic fixat per Aristòtil cita que la inducció[46] és l'emprada per enunciar veritats universals, però l'autor del treball vol

[45] Raonament en què una conclusió se segueix necessàriament d'una o més premisses.
[46] Raonament pel qual hom remunta de la part al tot, del particular al general, de l'efecte a la causa, dels fets a la llei que suposen. També la podem definir com el mètode per demostrar la validesa d'una successió numerable de proposicions.

matisar que la deducció és la utilitzada en la troballa d'aquests principis útils per la inducció.

5.4.3. Experiment 4.3.

En tercer lloc, farem reaccionar el cromat de potassi (K_2CrO_4) amb el nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$). Per aquest experiment necessitarem els materials següents:

- Gel preparat mitjançant gelatina amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$).
- 1 tub d'assaig de diàmetre estàndard.

La tria d'aquests dos compostos ha estat realitzada per la prèvia experimentació de la prova 1, que conté els mateixos. Però com que en aquest cas situarem els tubs a les fosques, volem comprovar si es conserven els mateixos patrons i la mateixa reacció en ambdós casos.

5.4.4. Experiment 4.4.

Seguidament, farem reaccionar el clorur de sodi (NaCl) amb el nitrat de plata ($AgNO_3$). Per aquest experiment s'utilitzaran els materials següents:

- Gel preparat mitjançant gelatina amb 0,2 g de clorur de sodi (NaCl).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 1 tub d'assaig de diàmetre estàndard.

5.4.5. Experiment 4. 5.

Finalment, realitzarem la mateixa prova amb el cromat de potassi (K_2CrO_4) i el nitrat de plata ($AgNO_3$). En aquesta s'utilitzaran els materials següents:

- Gel preparat amb gelatina amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 1 tub d'assaig de diàmetre estàndard.

També aquest és el cas de l'experiment 3, on s'ha esmentat que es repeteix la tria de compostos per realitzar la reacció per la variable lluminosa.

5.5. Prova 5

En aquest experiment intentarem fer reaccionar el cromat de potassi (K_2CrO_4) i el nitrat de plata ($AgNO_3$), dels quals tenim constància que formen uns perfectes anells de Liesegang. Però en aquest cas utilitzarem com a base el gel de sílice, variant el nostre

ús continu de gelatina per la creació dels gels. Els materials per aquesta prova seran, doncs, els següents:

- Gel de sílice amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 4 tubs d'assaig, tot de diàmetre estàndard.

En aquest cas disposarem de quatre tubs d'assaig perquè intentarem comprovar el creixement dels anells omplint cada dos dies un tub amb reactiu. D'aquesta manera, si tot funciona com esperem, obtindrem quatre mostres que deixaran visualitzar la velocitat del creixement dels anells en funció del temps. Aquesta prova la realitzarem completament a les fosques.

5.6. Prova 6

Aquesta prova la farem amb la preparació de gel de sílice i amb l'experimentació de quatre bases diferents, per observar si la diferència entre el gel de sílice i el gel preparat amb gelatina provoca canvis notables en la reacció.

5.6.1. Experiment 6.1.

En el primer experiment farem reaccionar el sulfat de magnesi ($MgSO_4$) amb hidròxid amònic (NH_4OH). Per realitzar-ho s'utilitzaran els següents materials:

- Gel de sílice amb 0,2 g de sulfat de magnesi ($MgSO_4$).
- Reactiu preparat amb hidròxid amònic (NH_4OH).
- 1 tub d'assaig de diàmetre estàndard.

5.6.2. Experiment 6.2.

Seguidament, farem reaccionar el clorur de magnesi ($MgCl_2$) amb hidròxid amònic (NH_4OH). Per fer-ho s'utilitzaran els materials següents:

- Gel de sílice amb 0,2 g de clorur de magnesi ($MgCl_2$).
- Reactiu preparat amb hidròxid amònic (NH_4OH).
- 1 tub d'assaig de diàmetre estàndard.

5.6.3. Experiment 6.3.

En tercer lloc farem reaccionar el cromat de potassi (K_2CrO_4) amb el nitrat de plata ($AgNO_3$). S'utilitzaran els següents materials:

- Gel de sílice amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).

- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 1 tub d'assaig de diàmetre estàndard.

5.6.4. Experiment 6.4.

Finalment, farem servir el cromat de potassi (K_2CrO_4) amb el nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$) per produir la reacció. S'utilitzaran els següents materials:

- Gel de sílice amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$).
- 1 tub d'assaig de diàmetre estàndard.

5.7. Prova 7

En aquesta prova realitzarem l'experiment amb gel de sílice de cromat de potassi (K_2CrO_4) i reactiu de nitrat de plata ($AgNO_3$) dins d'unes plaques planes i així intentar realitzar el creixement dels anells de manera horitzontal. Per a cada placa s'utilitzaran 300 ml de gel, i treballarem amb dues plaques, així que haurem de preparar 600 ml de gel de sílice per omplir les dues. També haurem d'aconseguir una broca d'1 mm de diàmetre per foradar-la pel centre, ja que per la part de dalt està tapada per evitar al màxim el contacte amb l'aire. Quan ja hàgim foradat el material, agafarem una pipeta i intentarem penetrar pel petit forat el reactiu, deixant així una gota en suspensió sobre el cromat de potassi gelificat. És important no tornar a moure l'experiment perquè el més mínim moviment podria fer lliscar la gota per sobre del gel i perdre així tota la feina realitzada fins aleshores.

Per aquesta prova necessitarem, doncs, els materials següents:

- Gel de sílice amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 2 cubetes amb tapa.
- Un trepant amb broca d'1 mm.

5.8. Prova 8

En aquest cas realitzarem l'experiment en un pla horitzontal, és a dir, a sobre d'una lent de vidre[47] d'uns 80 mm de diàmetre, amb la seva respectiva tapa[48]. La base

[47] Cal que la lent estigui perfectament equilibrada i que no presenti cap desviació respecte el pla horitzontal.
[48] Totes les tapes citades en els experiments poden ser fabricades amb paper de cuina o amb cinta adhesiva de pintor.

gelificada serà de cromat de potassi (K_2CrO_4) i el reactiu de nitrat de plata ($AgNO_3$). Però aquest experiment presentarà una variant important respecte l'anterior, ja que el reactiu que precipitarem sobre el gel serà abundant en forma de diferents gotes separades per pocs mil·límetres unes de les altres. Les gotes les col·locarem amb la pipeta, ja que han de ser abocades amb molta exactitud.

És important que la lent quedi coberta en la seva totalitat pel gel, ja que així aconseguirem millors resultats i més extensos. També cal remarcar que no s'ha de moure massa l'experiment després d'abocar el reactiu, ja que si aquest es desplaça per sobre del gel l'acabarà destrossant.

Així doncs, els materials que necessitarem seran els següents:

- Gel preparat amb gelatina amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 1 lent de 80 mm de diàmetre amb tapa.

5.9. Prova 9

En aquesta prova farem servir els mateixos compostos que en les dues darreres, cromat de potassi (K_2CrO_4) i el reactiu de nitrat de plata ($AgNO_3$), però el gel en aquest cas serà preparat amb agar. I una altra variant serà també que farem un forat al centre del gel quan estigui sobre el plat de 10 mm de diàmetre. Dins d'aquest forat abocarem el reactiu i el deixarem allí perquè vagi penetrant al gel.

Necessitarem, doncs, els materials següents:

- Gel preparat amb agar amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 1 plat fons de mínim 200 mm de diàmetre.

Com ja he citat a les altres proves amb suports horitzontals, és preferible no moure'l massa per evitar que llisqui el líquid per sobre del gel.

5.10. Prova 10

Per intentar reproduir la prova 8 a una escala molt més gran, realitzarem idènticament la mateixa prova en una lent de vidre de 400 mm de diàmetre. El procediment i les indicacions pertinents són idèntiques a la prova 8.

Així doncs, necessitarem els materials següents:

- Gel preparat amb gelatina amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).

- 1 lent de 500 mm de diàmetre amb tapa.

5.11. Prova 11

En aquesta prova intentarem comprovar si al variar les concentracions de la dissolució de la base, es formaran igual anells de Liesegang. En aquest cas hem triat com a compostos el cromat de potassi (K_2CrO_4) i el reactiu de nitrat de plata ($AgNO_3$), ja que és el que millor funciona a molts investigadors i el més fiable dels que disposem. La concentració emprada serà de 6 g de cromat de potassi (K_2CrO_4) en 100 ml d'aigua (H_2O). Farem ús de dos suports diferents: un got d'aigua allargat i transparent de 165 mm d'alçada i 60 mm de diàmetre i 6 provetes de mida estàndard. Òbviament, es necessitaran més de 200 ml de dissolució gelificada per realitzar l'experiment.

Així doncs, necessitarem els materials següents:

- Gel preparat amb gelatina amb 6 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 1 got allargat i transparent de 165 mm d'alçada i 60 mm de diàmetre i 6 provetes de mida estàndard.

5.12. Prova 12

En aquesta prova farem reaccionar novament el cromat de potassi (K_2CrO_4) i el reactiu de nitrat de plata ($AgNO_3$) en suports de diferents diàmetres per intentar veure si l'alteració d'aquests provoca canvis en la formació dels anells de Liesegang. Així doncs, farem servir un got allargat i transparent de 165 mm d'alçada i 60 mm de diàmetre, una proveta de mida estàndard i un pot cilíndric de 330 mm d'alçada i 10 mm de diàmetre. Tots ells els farem reposar a les fosques per evitar que el nitrat de plata ($AgNO_3$) pateixi cap alteració[49].

Així doncs, necessitarem els materials següents per realitzar-la:

- Gel preparat amb gelatina amb 0,2 g de cromat de potassi (K_2CrO_4).
- Reactiu preparat amb nitrat de plata ($AgNO_3$).
- 1 got allargat i transparent de 165 mm d'alçada i 60 mm de diàmetre, 1 proveta de mida estàndard i un pot cilíndric de 330 mm d'alçada i 10 mm de diàmetre.

[49] El nitrat de plata ($AgNO_3$) és fotosensible i ho reflecteix al tornar-se negre a l'estar en contacte amb la llum.

5.13. Prova 13

En aquesta prova s'intentarà fer reaccionar el dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$) i el sulfat de coure com a reactiu ($CuSO_4$). Però aquest cop es farà servir un suport diferent als anteriors, ja que té forma de U i sol ser emprat per molts investigadors al voler descobrir els enigmàtics anells. Als extrems del suport lligarem un fil de coure que l'unirem amb una pila de 4,5 V. Lligarem un cargol a cada extrem del fil. El cargol ha d'estar disposat de manera que estigui en contacte permanent amb el reactiu quan aquest sigui introduït al suport. D'aquesta manera aconseguirem crear una diferència de potencial entre un extrem i l'altre del suport, i així s'intentarà provocar amb aquest voltatge la creació més ràpida i eficaç dels anells.

Així doncs, necessitarem els següents materials:

- Gel preparat amb gelatina amb 0,2 g de dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$).
- Reactiu preparat amb sulfat de coure ($CuSO_4$).
- El suport indicat anteriorment

El gel sobrant de l'experiment l'autor d'aquest treball ha decidit abocar-lo dins d'una proveta de mida estàndard per comparar la reacció amb i sense diferència de potencial.

5.14. Prova 14

En aquesta prova s'intentarà fer reaccionar el clorur de magnesi ($MgCl_2$) i l'amoníac (NH_3) en concentració 1 M. També es realitzarà el mateix experiment amb el sulfat de coure II com a base ($CuSO_4$) i el dicromat de potassi com a reactiu ($K_2Cr_2O_7$). No es necessitarà preparar reactiu, ja que aquest es troba preparat industrialment i s'ha adquirit amb la concentració ja donada. També farem ús del suport introduït dins la prova 13, i el procediment a partir del qual aconseguirem la diferència de potencial serà ben bé el mateix.

Així doncs, necessitarem els següents materials:

- Gel preparat amb gelatina amb 0,2 g de clorur de magnesi ($MgCl_2$).
- Amoníac (NH_3) en concentració 1 M.
- El suport indicat.

Amb el gel sobrant de l'experiment, l'autor d'aquest treball ha decidit abocar-lo dins d'una proveta de mida estàndard per comparar la reacció amb i sense diferència de potencial.

Conclusió

1. Resultats obtinguts

DADES				
	Formació clara d'anells de Liesegang	O	Gelatina	G
	Indici de formació	I	Gel de sílice	Gs
	Cap indici	X	Agar	A

Taula 4

Referència[50]	Reactius[51]	G	Fig.	Gs	Fig.	A	Fig.
Prova 1	Dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$) i nitrat de plata ($AgNO_3$).	O	Fig.3.1.				
Prova 2	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i sulfat de coure II ($CuSO_4$).	X	Fig.3.2.				
Prova 2	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$).	X	Fig.3.3.				
Prova 2, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12 i experiments 4.5 i 6.3	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).	O	Fig.3.4.	I	Fig.3.22.	O	Fig.3.26.
Prova 2	Cromat potàssic (K_2CrO_4) i bromur de potassi (KBr).	X	Fig.3.5.				
Prova 2 i experiments 4.3 i 6.4	Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plom ($Pb(NO_3)_2$).	O	Fig.3.6.	I	Fig.3.23.		
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i sulfat de coure II ($CuSO_4$).	X	Fig.3.7.				
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$).	X	Fig.3.8.				
Prova 3 i experiment 4.4	Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de plata ($AgNO_3$).	I	Fig.3.9.				

[50] Aquí s'exposen les proves on s'han usat aquests components. Però la fotografia correspondrà a una d'aquestes proves, només com a guia visual per al lector.
[51] També es realitzarà un apartat amb totes les reaccions ajustades però, òbviament, per separat d'aquest que es visualitzarà tot seguit.

Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i bromur de potassi (KBr).	X	Fig.3.10 .				
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$).	I	Fig.3.11 .				
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i nitrat d'estronci ($Sr(NO_3)_2$).	X	Fig.3.12 .				
Prova 3	Clorur de sodi (NaCl) i sulfat de magnesi ($MgSO_4$).	X	Fig.3.13 .				
Experiment 4.1	Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i bromur de potassi (KBr).	X	Fig.3.14 .				
Experiment 4.1	Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$).	X	Fig.3.15 .				
Experiment 4.1	Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i cromat de potassi (K_2CrO_4).	X	Fig.3.16 .				
Experiment 4.2	Nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) i bromur de potassi (KBr).	X	Fig.3.17 .				
Experiment 4.2	Nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) i dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$).	X	Fig.3.18 .				
Experiment 4.2	Nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) i cromat de potassi (K_2CrO_4).	X	Fig.3.19				
Prova 6.1	Sulfat de magnesi ($MgSO_4$) i hidròxid amònic (NH_4OH).			X	Fig.3.24 .		
Experiment 6.2	Clorur de magnesi ($MgCl_2$) i hidròxid amònic (NH_4OH).			X	Fig.3.25 .		
Prova 13	Dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$) i sulfat de coure II ($CuSO_4$).						
Prova 14	Clorur de magnesi ($MgCl_2$) i hidròxid amònic (NH_4OH) amb diferència de potencial.	X	Fig.3.20 .				
Prova 14	Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$) amb diferència de potencial.	X	Fig.3.21 .				

En aquesta taula exposem tots els experiments realitzats en aquest treball. Com indica la taula de dades, s'han classificat segons si han format anells de Liesegang

perfectament visibles, si simplement presenten indicis de formació d'aquests o si no han presentat cap reacció. En aquest treball només estudiarem a fons les proves que ens han donat el millor resultat.

Taula 5

Dades	↓	Precipita

REACCIONS	**AJUSTADES ESTEQUIOMÈTRICAMENT**
Dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$) i nitrat de plata ($AgNO_3$).	$K_2Cr_2O_7 + AgNO_3 \rightarrow Ag_2Cr_2O_7 \downarrow + 2\ KNO_3$
Cromat de potassi (K_2CrO_4) i sulfat de coure II ($CuSO_4$).	$K_2CrO_4 + CuSO_4 \rightarrow CuCrO_4 \downarrow + K_2SO_4$
Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$).	$K_2CrO_4 + Cu(NO_3)_2 \rightarrow CuCrO_4 \downarrow + 2\ KNO_3$
Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plata ($AgNO_3$).	$K_2CrO_4 + AgNO_3 \rightarrow Ag_2CrO_4 \downarrow + 2\ KNO_3$
Cromat potàssic (K_2CrO_4) i bromur de potassi (KBr).	NO REACCIONEN[52]
Cromat de potassi (K_2CrO_4) i nitrat de plom ($Pb(NO_3)_2$).	$K_2CrO_4 + Pb(NO_3)_2 \rightarrow PbCrO_4 \downarrow + 2\ KNO_3$
Clorur de sodi (NaCl) i sulfat de coure II ($CuSO_4$).	$2NaCl + CuSO_4 \rightarrow CuCl_2 \downarrow + Na_2SO_4$
Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$).	$2NaCl + Cu(NO_3)_2 \rightarrow CuCl_2 \downarrow + 2NaNO_3$
Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de plata ($AgNO_3$).	$NaCl + AgNO_3 \rightarrow AgCl \downarrow + Na\ NO_3$
Clorur de sodi (NaCl) i bromur de potassi (KBr).	$NaCl + KBr \rightarrow KCl \downarrow + NaBr$
Clorur de sodi (NaCl) i nitrat de plom II ($Pb(NO_3)_2$).	$2NaCl + Pb(NO_3)_2 \rightarrow PbCl_2 \downarrow + 2NaNO_3$
Clorur de sodi (NaCl) i nitrat d'estronci ($Sr(NO_3)_2$).	$2NaCl + Sr(NO_3)_2 \rightarrow SrCl_2 \downarrow + 2NaNO_3$
Clorur de sodi (NaCl) i sulfat de magnesi ($MgSO_4$).	$2NaCl + MgSO_4 \rightarrow MgCl_2 \downarrow + 2NaNO_3$
Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i bromur de potassi (KBr).	$CuSO_4 + 2KBr \rightarrow CuBr_2 \downarrow + K_2SO_4$
Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$).	$CuSO_4 + K_2Cr_2O_7 \rightarrow CuCr_2O_7 \downarrow + K_2SO_4$
Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i cromat de potassi (K_2CrO_4).	$CuSO_4 + K_2CrO_4 \rightarrow CuCrO_4 \downarrow + K_2SO_4$
Nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) i bromur de potassi (KBr).	$Cu(NO_3)_2 + 2KBr \rightarrow CuBr_2 \downarrow + 2KNO_3$
Nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) i dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$).	$Cu(NO_3)_2 + K_2Cr_2O_7 \rightarrow CuCr_2O_7 \downarrow + 2KNO_3$
Nitrat de coure II ($Cu(NO_3)_2$) i cromat de potassi (K_2CrO_4).	$Cu(NO_3)_2 + K_2CrO_4 \rightarrow CuCrO_4 \downarrow + 2KNO_3$
Sulfat de magnesi ($MgSO_4$) i hidròxid amònic (NH_4OH).	$MgSO_4 + 2NH_4OH \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + (NH_4)_2\ SO_4$
Clorur de magnesi ($MgCl_2$) i hidròxid amònic (NH_4OH).	$MgCl_2 + 2NH_4OH \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + 2NH_4Cl$

[52] Com es pot observar, s'ha comès una errada greu en el plantejament de les reaccions realitzades. Però l'autor d'aquest treball ha decidit no suprimir-la perquè es vol cridar l'atenció així del lector i de l'experimentador per no caure en la mateixa trampa.

Clorur de magnesi ($MgCl_2$) i hidròxid amònic (NH_4OH) amb diferència de potencial.	$MgCl_2 + 2NH_4OH \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + 2NH_4Cl$
Sulfat de coure II ($CuSO_4$) i dicromat de potassi ($K_2Cr_2O_7$) amb diferència de potencial.	$CuSO_4 + K_2Cr_2O_7 \rightarrow CuCr_2O_7 \downarrow + K_2SO_4$

En aquesta taula apareixen totes les reaccions que s'han donat en els diferents experiments exposats, mostrant quins reactius romanen diluïts sense reaccionar i quins acaben precipitant formant els anells. Però totes aquestes reaccions només es donen en un medi ideal i partint de la vessant matemàtica i exacte de la qüestió ja que, un cop més, no sempre el nostre raonament científic ha coincidit amb la prova empírica.

2. Anàlisi dels resultats

Després d'aconseguir realitzar els experiments, hem pogut observar que només uns quants d'ells han donat un bon resultat. Els que ens ha donat com a resultat anells de Liesegang han estat les reaccions de cromat de potassi amb nitrat de plata, dicromat de potassi amb nitrat de plata i cromat de potassi amb nitrat de plom. Com es pot comprovar, totes tres reaccions comparteixen una gran quantitat de característiques. Pel que fa als reactius:

1. El nitrat de plata com a reactiu és l'únic que ha funcionat amb èxit en els nostres experiments formant anells clarament visibles.
2. La cristal·lització s'ha donat en elements metàl·lics.
3. Tots dos són nitrats, la qual cosa indica que han substituït l'hidrogen de l'àcid nítric.
4. Tant el cromat de potassi com el dicromat de potassi comparteixen característiques pràcticament iguals. Tots dos provenen d'àcids amb el crom com a compost. Tots dos han substituït l'hidrogen pel potassi i, a més a més, tenen comportaments fisicoquímics similars.

Pel que fa als productes:

1. En els tres casos el compost que ha substituït l'hidrogen als reactius també ho ha fet en el precipitat dels productes.
2. Els anells formats són cristalls, ja que els elements que els han format amb èxit ho han fet reaccionant en forma de cristal·lització.

Com es pot observar en els tubs d'assaig que contenen els anells, el cromat de plata és de tonalitat rogenca i el cromat de plom de tonalitat groga. Els colors sorprenen a més d'un quan es produeix la reacció. Gràcies a les cridaneres tonalitats, és més fàcil diferenciar el compost restant diluït que no ha reaccionat, del precipitat en forma d'anells.

Després d'haver comprovat que les úniques reaccions exitoses han estat aquestes, calia triar la més clara per a estudiar-la més a fons i basar altres estudis en ella. La triada ha estat, justament per la seva perfecció, la del cromat de potassi i el nitrat de plata. A partir de les concentracions que ens havien portat a la formació d'anells, hem realitzat altres experiments per comprovar altres factors en la creació d'anells de Liesegang.

3. Estudis

3.1. Estudi 1: Distàncies logarítmiques entre els anells[53]

3.1.1. Breus apunts teòrics sobre la llei de distàncies

El més sorprenent al realitzar un experiment d'anells de Liesegang i obtenir el resultat esperat és observar les visibles distàncies logarítmiques que existeixen entre els anells. Però no va ser fins al 1923 que Jablczinsky va descriure la primera llei de distàncies. Les mesures les prengué des de la superfície del gel fins a un anell específic, i ens donava la $\mathbf{x_n}$ del $\mathbf{n}$ anell mesurat, on $\mathbf{x}$ és distància i $\mathbf{n}$ és número d'anell. Es va adonar que la raó existent entre les distàncies adjacents ($\mathbf{x_{n+1}/x_n}$) era sempre constant i formava una sèrie geomètrica. El quocient d'aquestes sèries, que normalment es troba entre 1 i 1.5, és sempre anomenat com "coeficient de distància".

Aquesta llei de distàncies pot ser explicada clarament amb les bases de la teoria de sobresaturació d'Ostwald. També Carl Wagner, al 1955, va citar que si suposem l'existència de bandes causades per la precipitació, haurien de seguir una llei de progressió geomètrica.

Però no sempre es dona aquesta progressiva sèrie geomètrica en els experiments dels anells de Liesegang. Alguns investigadors s'han trobat amb un creixement invers

[53] In Silico LTD., pàgina web citada.
STONG, C. L., op. cit., pàg.111
SienceDirect,: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TVM-4RKMHXF-5&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=1497c73055e82313ea5040b41ec12c88

dels anells, el fenomen al qual anomenen "patró invertit". En aquests fenòmens el coeficient de distància és inferior a 1 , la distància entre bandes decreix i la "n"[54] creix. Sembla com si s'hagués col·locat un mirall durant la formació d'anells, ja que el fenomen creix i seguidament decreix.

Segons molts investigadors, inclòs Carl Wagner, afirmen que l'existència d'aquest patró invertit és matemàticament impossible. Però existeix!

La fórmula bàsica per trobar aquest coeficient de distàncies, al qual anomenarem **P,** és la següent:

Per al nostre estudi $P = \frac{X_{n+1}}{X_n}$ necessitem tenir clares les nomenclatures utilitzades. Posarem a disposició del lector la següent taula de la qual pot fer ús per consultar qualsevol dubte d'aquest tipus:

Taula 6

X	Variable independent de l'equació.
n	Número d'anell.
Y	Distància des de la superfície del gel fins al "n" anell.
LOG	Logaritme decimal.
P	Coeficient de distàncies.
R	Marge d'error.

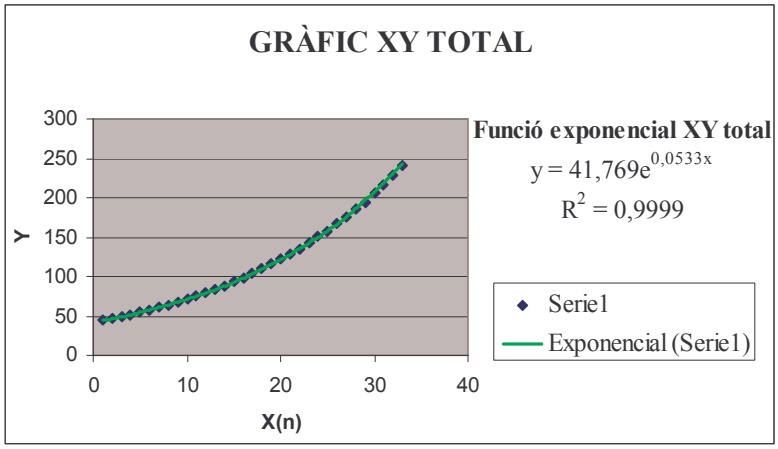
Les distàncies han estat agafades mitjançant una fotografia del tub amb els anells més ben formats. Tot seguit, exposarem el promig de els 5 estudis realitzats a diferents persones, per intentar així aconseguir la màxima exactitud empírica.

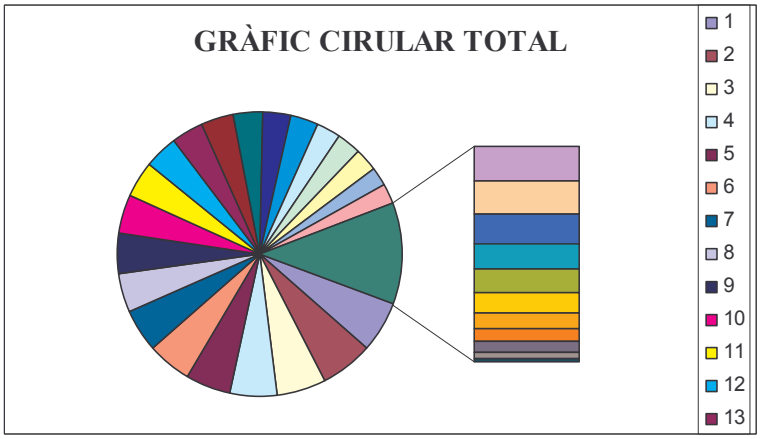
[54] Recordem que la "n" és el nombre d'anells.

3.1.2. Promig de les cinc persones

Taula 7

X(n)	Y
33	241,4
32	228,1
31	216,9
30	205,78
29	194,7
28	185,2
27	175,5
26	166,7
25	158,1
24	150,3
23	143,2
22	135,7
21	129
20	121,9
19	115,4
18	109,26
17	104,3
16	98,8
15	93,5
14	88,66
13	83,84
12	79,4
11	75,04
10	71
9	67,34
8	64
7	60,5
6	57,36
5	54,34
4	51,3
3	48,94
2	46,06
1	43,96





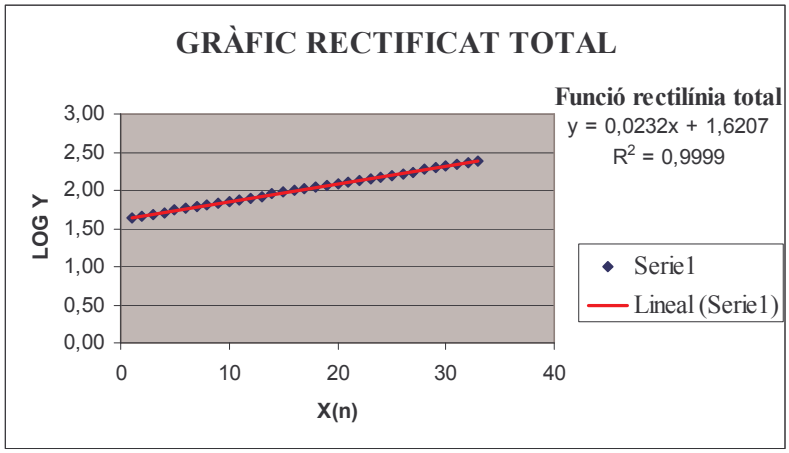
Promig P
1,05
Promig màxim P
1,07
Promig mínim P
1,04

El primer gràfic, anomenat "Gràfic XY n", és el que conté la X(n), és a dir, el número d'anells dins de l'eix d'abscisses i la Y, és a dir, la distància des de la superfície del gel fins a un anell específic, dins de l'eix d'ordenades. Ja deduíem a partir de les diverses bibliografies llegides que la distància entre els diversos anells hauria de ser explícitament logarítmica. Així doncs, gràcies a aquest gràfic, s'ha pogut comprovar la validesa d'aquesta afirmació i, a més a més, obtenim la funció que regeix la esmentada línia.

També s'afegeix un gràfic circular perquè es pugui observar la progressiva disminució de distàncies. Una gran particularitat d'aquest gràfic circular és que presenta una columna amb la sèrie geomètrica de manera vertical. Així, trobem la disposició real dels anells creats, ja que cada una de les línies correspon a un anell.

Taula 8

X(n)	LOG Y
33	2,38
32	2,36
31	2,34
30	2,31
29	2,29
28	2,27
27	2,24
26	2,22
25	2,20
24	2,18
23	2,16
22	2,13
21	2,11
20	2,09
19	2,06
18	2,04
17	2,02
16	1,99
15	1,97
14	1,95
13	1,92
12	1,90
11	1,88
10	1,85
9	1,83
8	1,81
7	1,78
6	1,76
5	1,73
4	1,71
3	1,69
2	1,66
1	1,64



Per comprovar una vegada més les distàncies logarítmiques que regeixen els anells, s'ha volgut realitzar un gràfic mitjançant paper logarítmic o, en el nostre cas, calculant el logaritme decimal de cada Y, ja que en ambdós casos s'obté el mateix traçat. Així doncs, si es complís la sèrie geomètrica esmentada, apareixeria la consegüent recta. Però al ser tots valors purament experimentals, cap recta conté en ella totes les dades. Per aquesta mateixa raó agafem com a recta la que s'aproxima més a tots els punts, la recta de mínims quadrats, la fórmula de la qual és la següent:

$$\sum_{X=X_1}^{Xn} = (Y_{X\ observada} - Y_{X\ calculada})$$

La recta de mínims quadrats de cadascun dels gràfics rectificats és l'apuntada al costat d'aquests.

Taula 9

X(n)	Y	Y Calculada	Error absolut	Error relatiu
33	241,4	242,51	1,1128	0,0046
32	228,1	229,93	1,8253	0,0080
31	216,9	217,99	1,0911	0,0050
30	205,78	206,68	0,8964	0,0044
29	194,7	195,95	1,2490	0,0064
28	185,2	185,78	0,5784	0,0031
27	175,5	176,14	0,6357	0,0036
26	166,7	166,99	0,2934	0,0018
25	158,1	158,33	0,2257	0,0014
24	150,3	150,11	0,1921	0,0013
23	143,2	142,32	0,8834	0,0062
22	135,7	134,93	0,7702	0,0057
21	129	127,93	1,0737	0,0083
20	121,9	121,29	0,6136	0,0050
19	115,4	114,99	0,4089	0,0035
18	109,26	109,02	0,2375	0,0022
17	104,3	103,36	0,9362	0,0090
16	98,8	98,00	0,8013	0,0081
15	93,5	92,91	0,5878	0,0063
14	88,66	88,09	0,5704	0,0064
13	83,84	83,52	0,3226	0,0038
12	79,4	79,18	0,2176	0,0027
11	75,04	75,07	0,0325	0,0004
10	71	71,18	0,1759	0,0025
9	67,34	67,48	0,1416	0,0021
8	64	63,98	0,0210	0,0003
7	60,5	60,66	0,1582	0,0026
6	57,36	57,51	0,1497	0,0026
5	54,34	54,52	0,1847	0,0034
4	51,3	51,69	0,3947	0,0077
3	48,94	49,01	0,0715	0,0015
2	46,06	46,47	0,4076	0,0088
1	43,96	44,06	0,0957	0,0022

Mitjana error absolut : 0,53 Error relatiu: 0,4%

Finalment trobem en tots els casos una gran taula constituïda per cinc columnes. Aquesta taula servirà per calcular la Y ideal segons la funció exponencial donada pel gràfic XY n i trobarem així els valors que haurien de tenir les distàncies des de la superfície del gel fins a un anell especificat per la "n" per a que fossin perfectament logarítmiques.

Durant l'estudi i la realització d'aquest darrer gràfic s'ha observat que si mitjançant l'equació exponencial del gràfic XY n podem aconseguir calcular qualsevol distància (ideal, recordem-ho), podríem arribar a calcular el primer anell de Liesegang que es formés. Aquest és un problema que tenen en comú tots els investigadors: no són

capaços de trobar el primer anell. Per aquesta raó, tots els estudis sobre la distància dels anells fins al punt de referència (superfície) la donen sense fixar quin anell és[55], ja que els hi és impossible saber si l'anell que estudien és el 3r o el 48è. Matemàticament podem afirmar que la sèrie geomètrica segueix una disminució progressiva i, aleshores, el primer anell es trobaria en un límit a 0[56]. Però qualsevol persona pot ràpidament deduir que aquesta afirmació és totalment incerta, ja que microscòpicament no existeix la presència d'anells.

Una vegada més les matemàtiques es queden curtes per descriure la realitat. Hem d'entendre-les com una eina per conèixer millor el món material, però no com a única veritat. Una bona lectura sobre la qüestió és la realitzada pel gran filòsof modern Immanuel Kant. El seu pensament és l'empiricoracional: creu que la millor manera d'aconseguir un saber, un ésser, és fusionant el saber racional, és a dir, merament ideal, amb el món material, carregat d'imperfeccions i de paradoxes respecte el món racional. I aquest és el *modus operandi* que se segueix dins d'aquest treball de recerca. L'autor realitza un experiment i, posteriorment d'una observació profunda, realitza uns estudis racionals com són les taules annexades i en treu unes conclusions. També trobem una bona explicació sobre la indemostrabilitat de la realitat física en la tesi humeana, el qual diu que només podem suposar les coses que passen en el món empíric, ja que no les podem demostrar.

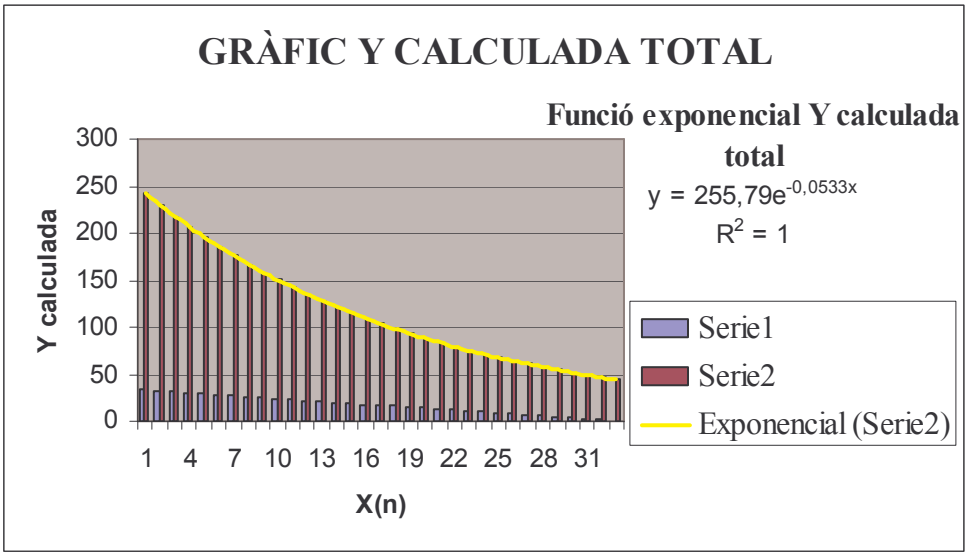
Centrant-nos novament, seguirem comentant les taules i gràfiques exposades dins de l'estudi de la llei de distàncies. Trobem també, encara fent referència a la taula de cinc columnes, l'error absolut i l'error relatiu de cada mesura observada respecta la mesura calculada. En format de fórmula seria de la següent manera:

$$\text{Error absolut} = |Y_{calc.} - Y_{obs.}|$$

[55] Simplement es limiten a donar una "n" com a referència dels anells.
[56] Per entendre millor aquest concepte d'infinita divisió de l'espai, val la pena consultar l'aporia d'Aquil·les i la tortuga escrita per Zenó d'Elea, eminent filòsof grec, deixeble de Parmènides i a la vegada defensor dels ideals del seu mestre.

$$\text{Error relatiu} = \frac{\text{Error absolut}}{Y^{57}}$$

Com es pot observar, els nostre errors (tan relatius com absoluts) són exageradament petits. Això indica que les nostres mesures experimentals s'ajusten molt a les deduïdes matemàticament.



Per últim, trobem un gràfic al final de l'estudi que plasma la Y calculada segons els diversos anells. Aquest gràfic és el que ens aporta una sèrie perfectament logarítmica, ja que el marge d'error, que ve indicat per la **R,** és 1, que significa que és completament inequívoc. Podríem dir que es tracta del gràfic ideal del nostre experiment.

3.2. Estudi sobre la velocitat de reacció

Com s'ha observat, en aquest treball s'han realitzat una sèrie de proves on es variava la superfície de contacte del gel, és a dir, es canviava el diàmetre del suport que contenia el gel, i es variava la concentració dels compostos reactius. Aquest és el cas de les proves 11 i 12, sobre les quals realitzarem l'estudi.

[57] Com es pot observar, la Y utilitzada per a realitzar l'operació d'error relatiu és l'experimental, no la calculada mitjançant la funció. Això és degut al fet que l'autor d'aquest treball considera més correctes les dades preses experimentalment que les calculades matemàticament, ja que l'experiment dels anells de Liesegang té suficients rareses com per arriscar-nos a suposar la seva base matemàtica.

Com ja sabem, la velocitat de reacció és una equació que relaciona la velocitat d'una reacció química amb les concentracions dels reactius. La fórmula que regeix la velocitat de reacció és la següent:

$$V = k[A]^m[B]^n...$$

També existeixen uns factors que modifiquen la velocitat d'una reacció. Són quatre: la concentració dels reactius, la superfície de contacte entre els reactius sòlids, la temperatura i la presència de catalitzadors.

3.2.1. Segons la concentració dels reactius

Segons la teoria extreta de qualsevol llibre de química, com més gran sigui la concentració de reactius, major serà la probabilitat que hi hagi col·lisions entre les partícules que han de reaccionar.

A la prova 11, on es volia comprovar la variació de la velocitat de reacció variant les concentracions dels reactius, s'ha observat que, alterant radicalment la concentració del reactiu gelificat, la formació de gels és nul·la en suports verticals. Però, en canvi, s'ha realitzat el mateix experiment en un plat pla i s'ha observat que hi ha una curta formació d'anells de Liesegang al voltant del centre on s'ha abocat el reactiu líquid.

En tots els articles es coincideix en la idea que les concentracions són de vital importància en l'experimentació per intentar obtenir anells de Liesegang[58]. Amb aquest experiment es confirma aquesta afirmació, però l'autor d'aquest treball matisa que no implica la no-creació d'anells, sinó la més lenta i menys abundant creació d'aquests[59]. Però també s'ha observat que és important seguir les concentracions, ja que en aquest treball s'han utilitzat sempre les mateixes per intentar fer un estudi més precís de tots els experiments i, per aquesta mateixa raó, algunes reaccions de les quals es té constància que reaccionen amb èxit no s'ha donat cap indici de creació d'anells de Liesegang[60].

Per aquesta mateixa raó s'arriba a la conclusió que és important centrar-se en seguir les concentracions indicades en les diferents documentacions emprades, però no és del tot imprescindible. I un augment massiu de concentració en el gel provoca que la reacció sigui molt més ràpida però no que es divulgui amb més rapidesa també, sinó que

[58] Aconsellable mirar: STONG, C. L., op. cit., pàg.109.
[59] No es dóna sempre!
[60] Aquest és el cas del sulfat de coure i el dicromat de potassi com a reactius.

actua violentament al focus on s'ha abocat el líquid i ja no penetra més al gel. Per tant és un error relacionar la velocitat de reacció amb la velocitat de formació d'anells.

3.2.2. Segons la superfície de contacte dels reactius sòlids[61]

Citant la teoria, les reaccions en què intervenen sòlids són més ràpides com més fragmentats estiguin aquests. Però no existeix cap tipus de modificació quan els reactius són gasosos o es troben en dissolució.

Heus aquí el gran problema que planteja aquest experiment. El gel, com ja sabem, es produeix afegint un catalitzador a una dissolució. Per tant, té un caràcter líquid però alhora sòlid. Per aquesta mateixa raó, l'autor d'aquest treball ha volgut considerar-lo com a sòlid ja que, encara que deixa penetrar matèria al seu interior, el gel permet deixar reposar el líquid reactiu a sobre seu i, encara que sigui d'alguna mínima forma, això el relaciona directament amb un caràcter sòlid com és la no-penetració de manera natural[62].

Aquest és l'estudi que s'ha fet amb els experiments realitzats a la prova 12. Els resultats han estat clars:

1. La proveta de diàmetre estàndard on s'ha realitzat l'experiment ha tardat aproximadament un mes en aconseguir crear anells de Liesegang fins al seu límit.
2. El got allargat i transparent de 165 mm d'alçada i 60 mm de diàmetre ha tardat aproximadament un mes en aconseguir formar anells fins a l'alçada de la proveta.
3. El pot cilíndric de 330 mm d'alçada i 10 mm de diàmetre ha tardat aproximadament un mes en aconseguir formar anells fins a l'alçada de la proveta.

A simple vista, i observant els resultats exposats en aquests tres punts, sembla que el nostre estudi ha finalitzat nefastament. Però no s'ha de caure en la trampa exposada en l'estudi anterior. L'augment de la velocitat de reacció no implica més rapidesa en la formació d'anells tant horitzontal com verticalment. La nostra formació d'anells pel que fa a distància ha estat igual en els tres experiments. Però cadascun d'ells ha presentat una clara variant que els diferencia de la resta: com més s'incrementa

[61] Fig.3.27.
[62] Aquest paràgraf és purament subjectiu de l'autor, ja que no ha trobat cap font d'informació que pogués afirmar el caràcter no sòlid del gel.

la superfície de contacte, més junts apareixen els anells en un mateix tram. És a dir, la nostra proveta on s'ha realitzat l'experiment ha presentat uns anells que als pocs centímetres s'han separat i les distàncies s'han incrementat de manera radical segons anava penetrant el líquid al gel. El nostre got allargat ha presentat, en el tram corresponent a la proveta, uns anells molt més junts i han trigat molts més centímetres en separar-se. I per últim, el nostre pot de diàmetre més gran ha presentat, en el tram corresponent a la proveta, uns anells extremadament junts i molt difícil de diferenciar a simple vista i a llarga distància.

Per aquesta raó, es treu la conclusió que la superfície de contacte provoca que els anells presentin una separació més o menys gran segons el diàmetre. Augmentant-lo aconseguim fer un *zoom* a la reacció que, pel fet d' haver-li augmentat la velocitat, forma anells amb molta més abundància en el mateix temps.

3.2.3. Segons la presència de catalitzadors

Recordem que, com ja s'ha esmentat dins la introducció metodològica, els inhibidors juguen un paper fonamental en la reacció, ja que provoquen la disminució de la velocitat de reacció i la conseqüent formació d'anells.

En els nostres experiments hem trobat casualment una prova irrefutable d'aquesta característica tan important per a la formació d'anells. En el moment que s'havia observat que el cromat de potassi i el nitrat de plata reaccionaven amb èxit, s'ha volgut realitzar el mateix experiment mitjançant el gel de sílice. Però al no ajustar del tot bé les concentracions hem aconseguit un gel de sílice no suficientment gelificat. El resultat ha estat un petit indici de formació d'anells al principi del tub i, *a posteriori*, la violenta cristal·lització del cromat de plata.

D'aquí traiem la conclusió que la presència del catalitzador en l'experiment en què es basa aquest treball és indispensable i vital. I també té gran importància la quantitat que s'hi aboca, ja que una minsa aportació de catalitzador a la dissolució pot provocar la violenta cristal·lització del precipitat, però una desmesurada aportació també pot provocar molta més lentitud en la reacció.

3.2.4. Segons la temperatura

Seguint la teoria, un augment de la temperatura provoca sempre un increment de la velocitat de reacció. Com més alta sigui la temperatura, més gran serà la velocitat de les partícules dels reactius. Com més gran és aquesta velocitat, més elevat serà el

nombre de col·lisions. A més, en xocar les partícules amb una energia cinètica superior, afavoreix la rapidesa de la reacció.

En aquest treball no s'havia realitzat cap experiment específic per comprovar la variació de la velocitat de reacció segons la temperatura, però s'ha fet sense tenir-ne la intenció. Com ja s'ha esmentat, es va voler deixar un tub d'assaig amb cromat de potassi i nitrat de plata en contacte amb la llum solar i un altre completament a les fosques. Però amb això també es va aconseguir variar la temperatura, ja que el tub col·locat a les fosques es va posar dins d'un armari relativament fred i fosc, i l'altre en contacte amb la llum solar rebia la seva calor. El resultat ha estat una petita variació en la durada de la formació d'anells. Però la diferència ha estat tan mínima que no es pot considerar com a dada significativa.

Per aquesta mateixa raó es pot afirmar que s'ha observat una petita variació en la velocitat de reacció mitjançant el canvi de temperatures en l'experimentació amb anells de Liesegang, però no és del tot fiable afirmar que influeixi en ella.

4. Similitud amb Turing[63]

Com s'ha observat, hi ha hagut una sèrie de proves on s'utilitzava una lent gelificada com a suport i s'abocaven damunt d'ella petites gotes de forma aleatòria. Aquest ha estat el cas de les proves 8 i 10. El que s'esperava trobar amb aquest experiment era el comportament dels anells quan xoquen els uns amb els altres.

El resultat ha estat un bell mosaic d'anells que no han arribat a desenvolupar-se pel costat on han xocat amb els altres[64]. Però el més sorprenent ha estat el comportament que s'ha donat als límits dels xocs. En aquests punts han aparegut unes línies de gel on el reactiu líquid no ha pogut reaccionar, i aquestes es donen al voltant de tots els focus d'anells. Així doncs, el desenvolupament dels anells finalitza formant figures geomètriques tals com hexàgons i pentàgons, segons els xocs.

A simple vista sembla com si aquest experiment representés algun fenomen natural tal com els ocels d'alguns animals i, centrant-nos en aquest punt, es va iniciar

[63]IMBIHL, R.: http://adsabs.harvard.edu/abs/1992MPLB....6..493I
POPESCU, S.: http://www.iop.org/EJ/abstract/0295-5075/73/2/190
JENSEN, O.; MOSEKILDE, E.; BORCKMANS, P. i DEWEL, G: http://www.iop.or/EJ/abstract/1402-4896/53/2/014
PARWANI, Rajesh : http://staff.science.nus.edu.sg/~parwani/c1/node66.html
http://www.xena.ad/lcf/mars2007/turing_catala/turing_catala.htm
També cal esmentar un article del *Mundo científico* on es va trobar inicialment aquest fenomen, però es va perdre la referència i ha estat impossible tornar-la a trobar.
[64] Fig.3.28.

una recerca sobre quin comportament seguien les figures formades a les pells de certs animals. Durant aquesta recerca es va trobar un article en una revista del *Mundo científico* on es definien els ocels de les pells del lleopard com una estructura de Turing.

Una estructura de Turing és un patró estacionari format quan les ones químiques propagades del tipus Belousov-Zhabotinski[65] es combinen amb els efectes de la difusió en un medi. Per això se l'anomena un sistema de reacció-difusió.

Com a teoria possible dels anells de Liesegang s'havia trobat en moltes ocasions que existia l'opció de què es tractés d'una reacció-difusió. Aquí trobem un punt comú entre les estructures de Turing i els anells de Liesegang. Si de veritat es confirmés la validesa d'aquesta teoria, es podria plantejar la possibilitat que els anells de Liesegang, xocant entre ells, formessin estructures clares de Turing. Però encara s'ha d'investigar molt sobre aquest punt, ja que l'autor no ha trobat cap experiment idèntic al realitzat en aquest treball ni cap teoria o hipòtesi que relacioni els dos fenòmens.

Per aquesta raó es pot afirmar que potser no està comprovat ni prou experimentat el comportament comentat com per treure'n conclusions clares i crear una relació directa entre els dos. Però sí que podem esmentar que, a simple vista, existeix una clara similitud entre el dibuix d'alguns animals i l'experiment realitzat a les proves 8 i 10[66].

5. Particularitats d'alguns experiments

En aquest treball només s'ha centrat l'estudi en els experiments que han format anells de Liesegang, però no hem d'oblidar els altres realitzats que han donat uns resultats diversos i alguns sorprenents.

5.1. Formació de vida en alguns tubs

Un bon exemple és la sèrie de proves que s'han realitzat amb sal comuna (NaCl)[67]. En els tubs 3c, 3d, 3e, 3f i 3g s'ha format vida. La superfície dels tubs 3d, 3f i 3g s'ha florit completament i s'ha tornat d'una tonalitat negra. S'ha de recordar que aquests tubs no han estat tancats hermèticament, tot i l'estona en contacte amb l'aire ha estat gairebé nul·la. I els dos més sorprenents, el 3c i el 3e, on s'observa com s'ha

[65] La reacció Belousov-Zhabotinski és una remarcable reacció química que manté un prolongat estat de no-equilibri provocant unes oscil·lacions macroscòpiques temporals i formant patrons espacials que tenen molta semblança amb el medi orgànic.
[66] Tot el que s'ha explicat en aquest apartat ha estat pensat i expressat pel propi autor d'aquest treball seguint una hipòtesi explicada per via oral per part del constructor Marc Boada. No hi ha constància de que cap altre investigador hagi relacionat els dos fenòmens ni hagi realitzat l'experiment com el que s'ha realitzat en aquest treball. Per aquesta mateixa raó no es poden extreure conclusions segures.
[67] Consultar prova 3.

format un microorganisme a la part inferior del recipient, i a més fent-ho en forma de rodona. Fins i tot s'arriben a apreciar unes deformacions a la superfície de l'ésser viu.

Aquest fet pot ser explicat per la manca d'esterilització del medi emprat per a realitzar l'experiment i perquè la sal comuna és un bon medi de cultiu.

Nogensmenys, en una visita al laboratori del constructor Marc Boada es va observar com aquest havia experimentat amb medis i compostos orgànics per intentar-los relacionar. I el resultat és sorprenent, ja que s'observen una sèrie de bandes poc definides en alguns dels tubs[68]. Però no s'aprecien uns perfectes anells de Liesegang, així que també es descarta la possibilitat.

5.2. Deformació dels anells[69]

En algunes de les proves realitzades amb diàmetres superiors a 30 mm s'ha observat com existia una deformació dels anells de Liesegang formats. En lloc de formar-se anells independents i rectes, s'han fusionat dos anells o simplement s'ha saltat d'un anell a un altre. Aquest rar fenomen no pot ser explicat per raons externes com que, per exemple, s'hagin mogut el recipients o s'hagin alterat les condicions ambientals, ja que els recipients han estat guardats sempre en el mateix indret sense ser extrets ni sacsejats.

Per aquesta mateixa raó l'autor d'aquest treball no sap amb què relacionar aquest comportament, però s'ha trobat en un article un comportament similar on apareixien un efecte de doble banda en els experiments realitzats pel seu autor. Per aquesta raó no es descarta la possible relació amb aquest efecte o que es tracti d'una possible variant.

5.3. Presència d'anells segons el fons[70]

Aquesta és una particularitat molt impactant i que no es té constància que cap investigador hagi observat alguna cosa semblant, si no esmentem la reacció del clorur d'or groc i l'àcid oxàlic, on només s'aprecien anells de Liesegang en presència de llum solar. En aquest treball s'ha observat un rar comportament contrari al del clorur d'or groc i l'àcid oxàlic. Estem parlant del cas del dicromat de potassi i el nitrat de plata. En aquest experiment es formen un seguit de bandes perfectament visibles a la part superior del recipient, però quan vas avançant cap a la part inferior només es poden apreciar els anells si retires la llum i col.loques un fons adequat per a captar-los.

[68] Fig.3.29.
[69] In Silico LTD., pàgina web citada.
[70] Com a conseqüència de tenir aquesta particularitat, no s'han pogut fotografiar.

Encara no s'ha aconseguit entendre aquest rar comportament, però es podria tractar d'una explicació semblant a la que dóna Stong a l'article de *Investigación y Ciencia* tants cops comentat sobre el comportament de l'or groc i l'àcid oxàlic.

6. Conclusió final[71]

- Els anells de Liesegang es formen com a resultat d'una reacció de precipitació i alhora de substitució, on els compostos que no formen anells no reaccionen i apareixen diluïts però units per la gelificació, i on el precipitat es solidifica en una sèrie de punts, les distàncies dels quals segueixen una sèrie de raó geomètrica. Les distàncies entre els anells, doncs, són logarítmiques i la constant P es troba, efectivament, entre 1 i 1.5.
- Es pot assegurar que les reaccions següents formen uns perfectes anells de Liesegang amb les seves corresponents particularitats: el cromat de potassi i el nitrat de plata, el dicromat de potassi i el nitrat de plata i el cromat de potassi i el nitrat de plom. La més clara, però, és l'esmentada en primer lloc. I també cal fer menció del rar comportament de la segona reacció, ja que només es poden observar si hi col·loques un fons adequat a la part posterior del recipient.
- Una alteració en qualsevol factor que faci variar la velocitat de reacció provoca una formació més junta d'anells, però no provoca la seva més ràpida difusió. No s'ha de confondre la precipitació del compost amb la penetració d'aquest dins del gel. Però cal anar amb compte si s'hi aplica una alteració en el catalitzador, ja que aquest provocarà una més lenta o més ràpida reacció i pot arribar a fer cristal·litzar violentament el precipitat.
- S'observen unes estructures semblants als ocels de certs animals quan s'aboquen gotes aleatòriament sobre la superfície d'un gel dipositat en una lent plana. Aquestes estructures poden relacionar-se amb el mecanisme de precipitats rítmics estudiats des d'Ostwald fins a Turing. Sobretot amb aquest darrer s'han trobat moltes similituds entre les seves estructures i els anells estudiats. Tots dos comparteixen la gran semblança amb la pell del lleopard i de la girafa, entre d'altres.

[71] Esborrany del futur article de la revista *Investigación y Ciencia* escrit pel constructor Marc Boada.
In Silico LTD., pàgina web citada.
STONG, C.L.; op. cit.

- No surt al treball cap prova que es realitzi amb sulfat de coure II com a base i nitrat de plata com a reactiu, però sí que es va realitzar per a començar l'experimentació. Aquesta prova no va ser indicada al treball per la manca de resultats, però hi va haver un tub on va aparèixer una espècie d'hèlix que precipitava. Aquest model en espiral ja és esmentat per Stong en la reacció de l'hidròxid d'amoni amb el nitrat de cobalt.
- Sempre s'ha intentat relacionar els esmentats anells amb característiques pròpies d'éssers vius i, en general, amb el medi orgànic. En les proves realitzades en aquest treball s'ha observat la formació de molts bacteris en diversos experiments fets amb sal comuna, però sobretot cal destacar-ne un on hi ha hagut un indici de formació de bandes rítmiques i a la part inferior s'ha format un bacteri i, fins i tot, s'ha pogut comprovar que, en diferents tubs on s'han utilitzat altres compostos orgànics, apareixen altres bandes molt poc definides. Tot i això, no es pot afirmar amb seguretat que tots dos fenòmens estiguin directament lligats. Però també cal citar l'aplicació dels anells de Liesegang en malalties de caire inflamatori, encara que no s'ha estudiat en aquest treball per falta de coneixements i perquè s'escapa del nivell al qual es pot aspirar entendre.
- Existeixen moltes teories que expliquen el fenomen que provoca la formació dels anells de Liesegang, però totes elles són incompletes. Algunes d'elles són la teoria del caos, la teoria de la difusió de Turing, la teoria de la sobresaturació d'Ostwald publicada al 1897, la teoria de la coagulació del sol, la teoria de la pre i postnucleació. Nogensmenys, l'autor d'aquest treball ha trobat molt avançada i encertada en diversos aspectes el model IDNB[72] citat per la companyia In Silico LTD. Sembla que aquest model pot arribar a representar el final de la difícil recerca, però no és del tot segur. I també cal destacar la idea que afirma que els anells poden ser explicats com fluctuacions periòdiques de la composició del fluid on va precipitar.

Per aquesta raó segueix essent un enigma l'estranya formació d'aquests vistosos anells i les seves distàncies logarítmiques, però no s'ha de deixar mai d'investigar per intentar trobar l'explicació definitiva, essent sempre coneixedors de les nostres

[72] No s'ha estudiat aquest model dins del treball perquè s'escapa de les capacitats per entendre-ho completament de l'autor.

limitacions intel·lectuals i tecnològiques com a humans i la poca demostrabilitat del món empíric, com s'ha explicat anteriorment.

Bibliografia

- ALBERTÍ, Santiago:*Diccionari mitjà*, Barcelona, Albertí, 1982[5].
- CALVO, Miguel: http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/agar.html
- Casa Pià: http://www.casapia.com/
- Centre de terminologia: http://www.termcat.cat/
- Collins: Spanish Dictionary, Barcelona, Grupo editorial Random House Mondadori, 1982[5].
- COROMINAS, Josep, , http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/Rc-43/Rc-43.htm
- *Diccionario compacto*, Stuttgart, Klett, 2000.
- Enciclopèdia catalana: *Gran Enciclopèdia Catalana,* Barcelona, Enciclopèdia catalana, 1997[7].
- Espasa-Calpe S.A.: Diccionario Enciclopédico Espasa, Madrid, Espasa-Calpe, 1985[9].
- FERNÀNDEZ, Fèlix: *Apunts de química de la Salle Reus.*
- Gelatine Manufacturers of Europe, http://www.gelatine.org/es
- GIL VERNET, Jordi: *Filosofia II,* Reus, Editorial desconeguda, juliol 2006.
- http://vayanoche.blogspot.com/2007_05_01_archive.html
- http://wwwitp.physik.tu-berlin.de/~krug/geol_en.html
- http://jcp.bmjjournals.com/cgi/content/extract/58/12/1343
- http://polymer.bu.edu/ogaf/html
- http://www.cocineros.info/mundial/product.php?productid=816&partner=jocooking
- http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20071026102857AAwC3Aj
- In Silico LTD.: http://www.insilico.hu/liesegang/index.html

- Institut d'Estudis Catalans: *Diccionari de la llengua catalana*, Barcelona, Edicions 62, 2007[2].
- Journal of Chromatographic Science: http://www.chromatography-online.org/topics/silica/gel.html
- Online Medical Dictionary,: http://cancerweb.ncl.ac.uk
- PEY ESTRANY, S.: *Diccionari de sinònims, idees afins i antònims amb vocabulari de barbarismes*, Barcelona, Teide, 1990[12].
- SHARBAUGH III I SHARABAUGH JR., Amandus H.: "An Experimental Study of the Liesegang Phenomenon and Crystal Growth in Silica Gels", *Journal of Chemical Education*, **66**(7), 1989, pàgs. 589-594.
- SienceDirect,: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TVM-4RKMHXF-5&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C-000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=1497c73055e82313ea5040b41ec12c88
- STONG, C. L.: "Taller y laboratorio", *Investigación y ciencia*, Maig 1977.
- Technische Universitat Berlin, http://wwwitp.physik.tu-berlin.de/~krug/geol_en.html
- Universitat Rovira i Virgili, http://www.quimica.urv.es/
- WEAVER, Terry L.; THATCHER, Robert C.: http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=186844

Annex fotogràfic

Anomenarem figures 1 a totes aquelles fotografies pertanyents a l'apartat de *Breus apunts sobre els anells de Liesegang*, figures 2 a les pertanyents a l'apartat *Anells de Liesegang (experimentació amb gels)* i figures 3 a les pertanyents a l'apartat *Conclusió*.

Fig.1.0. Anells de Liesegang[73]

Fig.1.1. Colònia de fongs en una poma[74]

[73] Fotografia feta per l'autor del treball. Totes les fotografies realitzades per l'autor portaran el símbol * per indicar-ho.

Exemples d'ocels d'animals amb una possible relació amb els anells de Liesegang[75]:

Fig 1.2.1

Fig.1.2.2.

També podem trobar certa semblança amb les estructures de Turing, les quals relacionarem amb els anells en les conclusions del treball.

[74] http://www.insilico.hu/liesegang/effects/effects.html
[75] http://www.fullfondos.com/animales/cebra/cebra.jpg
http://www.corriere.it/Media/Foto/2007/05/31/fdg/TIGRE.jpg
http://www.guiafe.com.ar/fotos-argentina-2005/tigre3.jpg
http://ichn.iec.cat/bages/roureda/Imatges%20grans/SALAMAND.jpg
http://www.elclubdigit
al.com/foro/attachment.php?attachmentid=85100&d=1170871361
http://www.lacoctelera.com/myfiles/horoscopochino/serpiente_horoscopo-chino.jpg

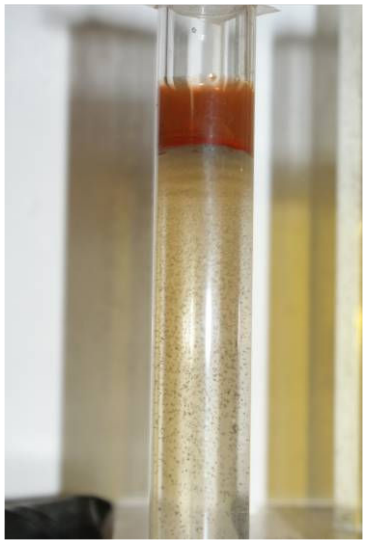


Fig.3.1.*

Fig.3.2.*

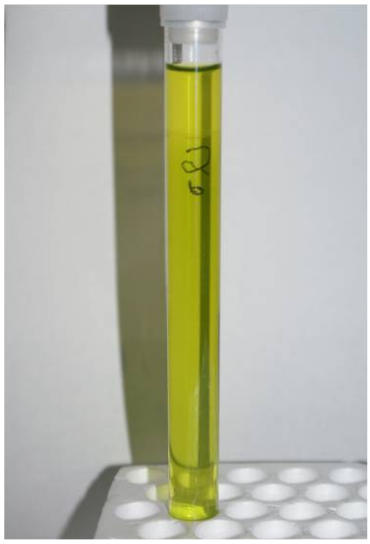


Fig.3.3.*

Fig.3.4.*

Fig.3.5.*

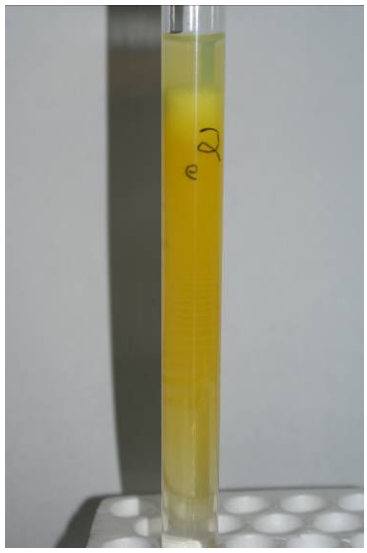


Fig.3.6.*

Fig.3.7.*

Fig.3.8.*

Fig.3.9.*

Fig.3.10.*

Fig.3.11.*

Fig.3.12.*

Fig.3.13.*

Fig.3.14.*

Fig.3.15.*

Fig.3.16.*

Fig.3.17.*

Fig.3.18.*

Fig.3.19.*

Fig.3.20.*

Fig.3.21.*

Fig.3.22.*

Fig.3.23.*

Fig.3.24.*

Fig.3.25.*

Fig.3.26.*

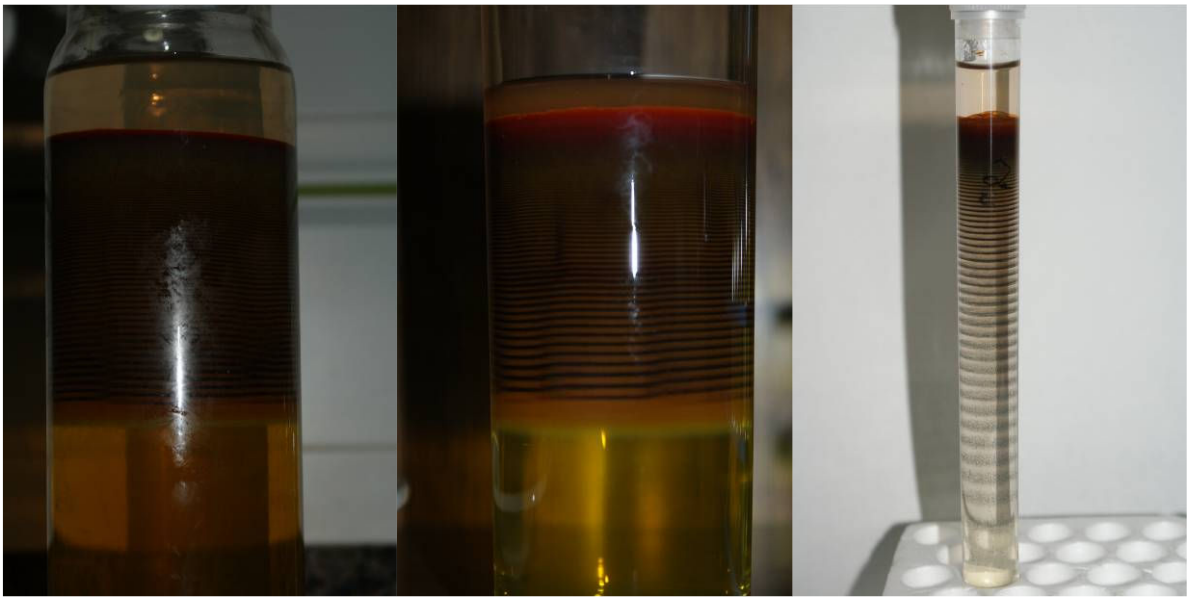


Fig.3.27. Estudi segons la superfície de contacte*

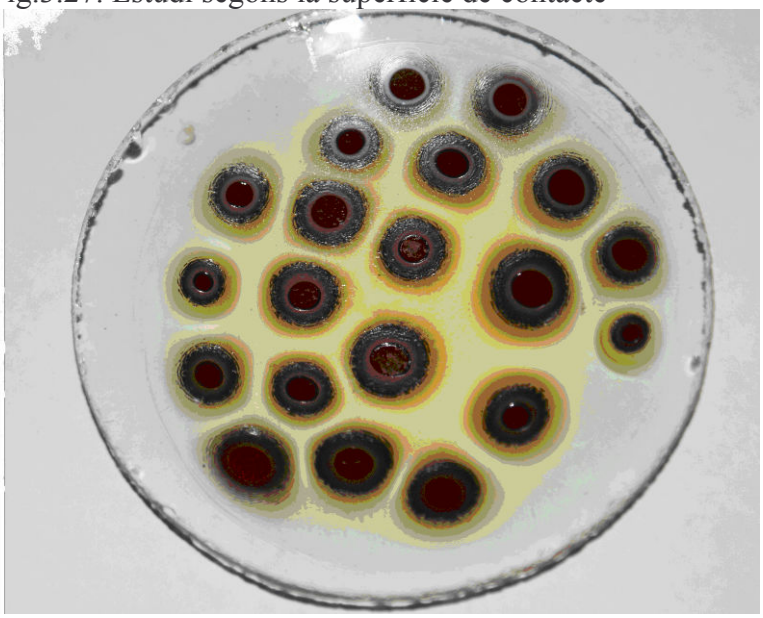


Fig.3.28. Similitud amb Turing*

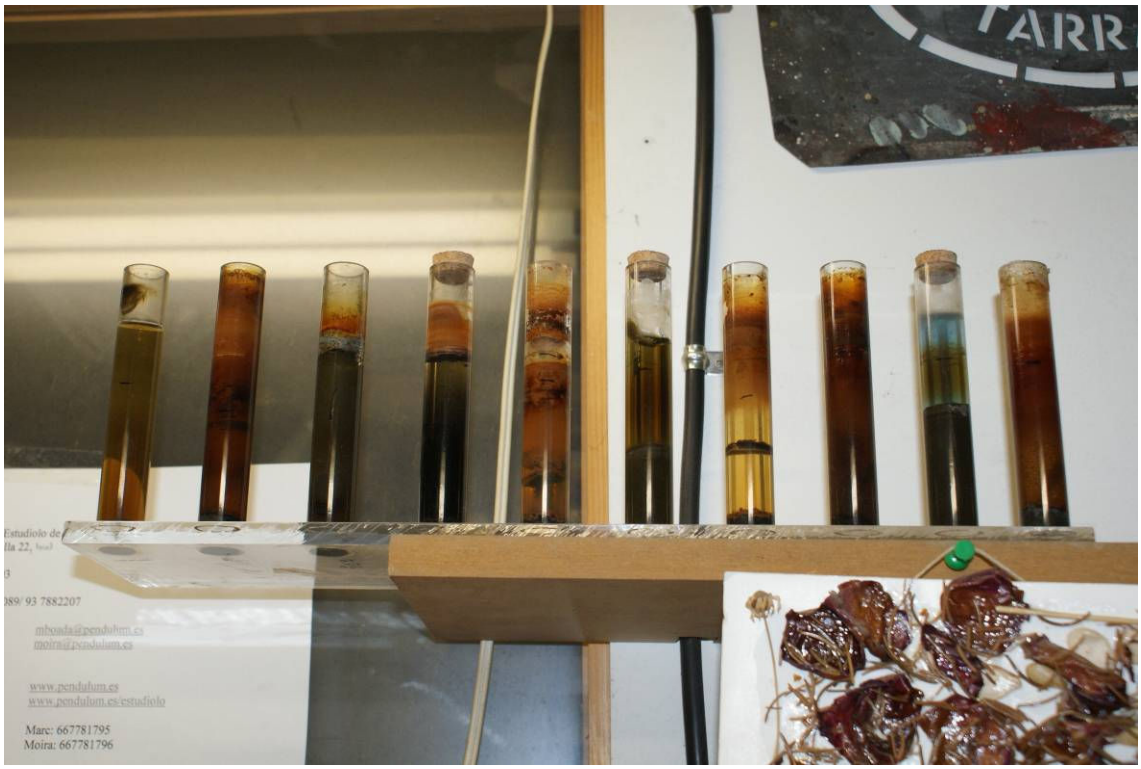


Fig.3.29. Experiments amb presència de vida*