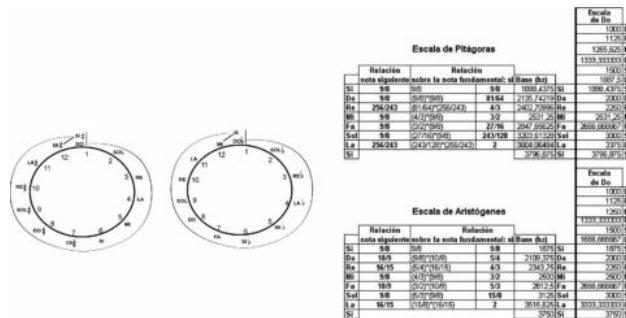


# La música, la ciència i els oients



Com ja he dit en altres ocasions, el llenguatge que parlen els científics no sempre coincideix amb el dels músics i, menys encara, amb el d'aquells a qui tan sols els agrada la música... I així cadascú es queda una mica a mig camí, si vol entendre alguns dels temes fonamentals d'un art que acompanya la història de la humanitat.

Vegem-ne un exemple senzill:

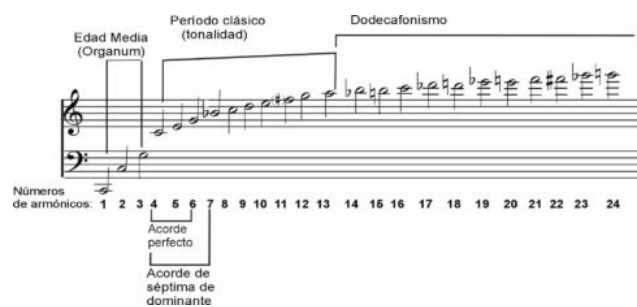
Doncs no, no és tan senzill. L'aficionat no hi entén absolutament res. El músic, en canvi, entendrà probablement la figura de l'esquerra de la taula, és a dir, el conegut «cercle de quintes», però a la taula de la dreta el més probable és que tan sols pensi que té alguna cosa a veure amb Pitàgores, Aristògenes i les escales. Un matemàtic veuria el dibuix del cercle de quintes com una mena de jeroglífic incompreensible, però en veure la taula les freqüències en Hz associades als noms de les notes i l'expressió de les relacions harmòniques, entendria com està construïda l'escala diatònica, podria comprovar que l'escala de Pitàgores no té la mateixa afinació que la d'Aristògenes i veuria per què no és el mateix començar l'escala partint de la nota SI que per la nota DO. Ara bé, si un músic volgués instruir aquest mateix matemàtic explicant per què les coses són així, faria servir un argot incompreensible per a algú acostumat a manejar xifres.

La manca d'entesa por ser idèntica fins i tot en casos aparentment molt més simples, com pot ser el títol d'una obra. Si parlem a un músic d'una simfonia en do sostingut major, és indubtable que sabrà immediatament què significa. A un oient comú, l'especificació «en do sostingut major» probablement li recordarà que és una tonalitat i això li servirà per identificar millor el títol de l'obra dins de totes les del compositor d'interès. Però i per a un científic o un matemàtic? El més plausible és que no tingui ni idea dels noms de les notes i ni que aquestes puguin ser... «sostingudes» o «bemolls». Tot plegat s'escapa del que té sentit per a ell!

És evident que no totes les persones estan compartimentades culturalment d'una manera tan extrema, però aquesta manca d'entesa una mica caricaturitzada ens fa pensar que una cultura general més enllà dels temes circumscrits a una determinada especialització o gustos per l'art aplanaria molt el camí. I és que la música, entre totes les arts, és la que més vincles té amb la ciència, encara que no en siguem gaire

conscients. La música és un art amb un camp tan ampli que no es limita als obvis coneixements científics que han de tenir, per exemple, els constructors d'instruments. Les matemàtiques i la física hi tenen una intervenció molt important, per diverses raons que anirem veient d'aquí a uns moments, però també altres ciències hi mantenen una relació ineludible: la psicologia es relaciona amb la música com una branca vinculada a l'ensenyament i l'estudi dels processos creadors i l'aprenentatge; la medicina pot indicar —per les característiques del cos humà— quines són les tècniques més eficients per tocar els diferents instruments, a banda d'estudiar com la música influeix en el desenvolupament del cervell, i fins i tot la sociologia en participa, de la música, analitzant-ne la influència en els diferents mitjans socials i culturals. Això per no parlar de la informàtica, que avui dia va tenint un desenvolupament cada vegada més important en diversos aspectes d'interès per als músics. I no oblidem que la musicologia és, de per si, una ciència.

L'oïent, que en definitiva és el destinatari de l'obra de qualsevol compositor i de la feina dels intèrprets, es troba una mica desarmat enfront del saber dels artistes. I aquests, molt freqüentment, imposen els seus dictats estètics i suposen que els oïents són, o haurien de ser, experts capaços d'apreciar les obres —tot des del punt de vista científic, si l'artista així ho vol— sense cap discussió. És aquesta una actitud tan respectable com sembla?



## Un problema que no és menor

Els músics, i particularment els compositors, són els que menys coneixements científics solen tenir, i molt especialment en matèria d'acústica —tot i ser aquesta la branca de la física que estudia precisament el so i les seves combinacions. Això, que no deixa de ser una gran paradoxa, es deu en part al fet que el músic sol raonar les qüestions de la teoria gairebé exclusivament a partir de notes en el pentagrama i generalment es pensa que així és suficient. Per tenir una idea de les imprecisions a què això pot conduir, vegem com amb set notes no es pot abastar tota la realitat sonora. El sistema d'escriptura amb set notes és una herència medieval que es va anar modificant amb l'ús de símbols auxiliars (els famosos sostinguts i bemolls) per alterar l'afinació de qualsevol do, re, mi, etc., amb la qual cosa s'obtenen dotze sons que, al seu torn, es poden escriure com a mínim de tres maneres diferents cada un. Això dona un mínim de trenta-sis maneres possibles d'escriure el total de dotze, tot i que les notes segueixin essent set. Aquesta és la base sobre la qual s'ha escrit tota la música durant diversos segles fins avui. Possiblement qualsevol llec es preguntaria per què no es resol el problema, d'una vegada per totes, inventant algun sistema més racional d'escriptura musical. La resposta

és complicada i excediria la finalitat d'aquest article, però diverses vegades s'ha intentat una reforma sense cap mena d'èxit. Aquest fracàs es deu, en gran mesura, a l'enorme complexitat del món sonor. Vegem-ho més de prop.

### **La complexitat extraordinària del món sonor**

Quan escoltem un so, en realitat no és un so sol sinó diversos alhora el que estem escoltant. Hi ha un so anomenat *fonamental* que predomina, i altres que aquest produeix, anomenats *harmònics* (o *parcials*). La quantitat d'harmònics que pot produir un so és infinita i se'ls numera 1, 2, 3, 4... fins on es vulgui. Segons quins siguin els harmònics que sonin més forts o febles, resultarà una sonoritat general que, en el cas de la música, defineix el timbre dels instruments (i el de la veu humana també). Per això un violí no sona igual que una trompeta, encara que tots dos facin sentir la mateixa nota —un do, per exemple.

Ara bé, la freqüència (quantitat de vibracions per segon) dels harmònics no creix de forma lineal, sinó exponencial. Alhora, com més elevat sigui el nombre de dos harmònics consecutius, menor serà la diferència en vibracions per segon entre tots dos. Per exemple, els harmònics 2 i 3 difereixen molt entre si en quantitat de vibracions per segon, en tant que els harmònics 25 i 26 tenen només una petita diferència entre ells. Com que la sèrie és infinita, s'entén fàcilment que com més alts siguin els harmònics, més disminueix aquesta diferència. Llavors, pot haver-hi, en algun moment, dos harmònics idèntics entre si? No, mai.

Els sons harmònics són un fet físic i l'anàlisi matemàtica demostra que la quantitat és infinita, perquè l'augment en vibracions per segon és exponencial i s'expressa en una funció logarítmica. Per aquesta raó mai s'aconsegueix la igualtat entre dos valors consecutius. S'hi pot estar molt a prop, però la igualtat és impossible. En altres paraules, l'interval que separa un harmònic qualsevol del que el segueix és cada vegada més petit i mai es repetirà cap interval en tota la sèrie, però tampoc es repetirà mai cap de tots els sons que componen la sèrie.

El problema ara és com expressar tot això amb set notes al pentagrama. Evidentment, és impossible. Això no obstant, sobre les notes al pentagrama, no han faltat músics que hagin intentat explicar algunes teories musicals des del punt de vista acústic. Més o menys a mitjan segle passat es va difondre un gràfic que tractava de demostrar l'arrel historicoacústica del dodecafonisme. És un exemple inigualable d'error, però encara avui dia s'usa en alguns cursos de composició:

Segur que només un músic pot interpretar aquesta figura, però val la pena explicar-la i fer-la comprensible per a qualsevol. A cada nota del pentagrama se li ha assignat una equivalència al número dels harmònics per indicar els intervals entre ells. Els músics mesuren els intervals entre dos sons comptant la quantitat de notes, de manera que, per exemple, entre el DO i el SOL hi ha cinc notes (do-re-mi-fa-sol) i a aquest interval se l'anomena *quinta*. Si el compte fos de vuit notes, l'interval seria una octava. La primera nota de la figura és un DO i la segona és un altre DO, a una octava de distància. La

tercera nota és SOL, a una quinta de distància. La figura representa, d'aquesta manera, que durant l'edat mitjana s'haurien usat només els harmònics 1, 2 i 3 per compondre música (en l'estil de l'*organum*) amb intervals d'octava i quinta, la qual cosa és certa. Després segueix el període clàssic de la tonalitat, mostrant l'ús de les set notes de l'escala. L'«acord de setena de dominant» va ser, en efecte, molt usat durant aquest període. I, a partir d'aquí, començaria una nova etapa històrica amb l'ús dels harmònics 13 en endavant. La figura mostra un símbol escrit abans de cada nota; aquests símbols són les alteracions de les quals parlàvem abans. Ara bé, aquesta representació té com a referència l'escala de dotze sons que es pot escoltar al piano tocant successivament totes les tecles blanques i negres. En aquesta escala tots els intervals són exactament iguals entre si, o sigui que l'afinació no concorda en absolut amb les freqüències reals dels harmònics que les notes suposadament indiquen. És més, ja l'harmònic 7 està mal representat, ja que «desafina» amb el seu equivalent escrit, si es produeix en forma natural —i aquest és un fet que els executants de diversos instruments saben perfectament—, així que l'«acord de setena de dominant» tampoc està ben representat (en realitat es forma amb els sons de l'escala diatònica calculada pels físics a l'antiga Grècia). Aquest exemple és immillorable per mostrar com de patètic resulta creure que escrivint una escala, que resulta de calcular l'arrel 12 de 2, es pot representar una funció exponencial per fonamentar científicament l'atonalisme dodecafònic. Però això no és el més greu; estem parlant d'una teoria que va canviar el rumb de la música i el punt de vista de pràcticament tots els compositors a partir del segle XX.

### Cap a on va la música?

Des dels temps de Pitàgores fins a la música electroacústica del segle XX i d'avui dia, el fenomen dels harmònics ha estat investigat com una part fonamental de la teoria musical. Mentre tot això estigui en l'àmbit del càlcul matemàtic i la física ho estarem gestionant de manera exacta. No així si pretenem fer servir l'escriptura en el pentagrama per expressar el mateix. Feu una mica d'història per sortir del que és convencional.

Les escales tonals es construeixen a partir de càlculs d'harmònics. Pitàgores va calcular la que avui coneixem com a

*escala diatònica* i el resultat és el que es veu a la figura de la dreta. Si el DO és de 1.000 vibracions per segon (1.000 Hz) el RE té 1.125 Hz, per la relació entre els harmònics 9 i 8 del DO (la relació s'escriu 9/8). Afinant dues cordes, una que vibri 1.000 vegades per segon (1.000 Hz) i una altra que vibri 1.125 vegades per segon (1.125 Hz), tenim el DO i el RE sonant en l'escala. Així serà per a la nota MI i la resta dels sons, fins a arribar a un

### Escala según Pitágoras

NOTA	RELACIÓN (con la nota anterior)	BASE (Hz)
DO		1000
RE	9/8	1125
MI	9/8	1265,625
FA	256/243	1333,33333
SOL	9/8	1500
LA	9/8	1687,5
SI	9/8	1898,4375
DO	256/243	2000
RE	9/8	2250
MI	9/8	2531,25
FA	256/243	2666,66666

altre DO, que tindrà el doble de la freqüència del primer. D'aquí en endavant, l'escala torna a repetir-se tota al doble de les freqüències (una octava més alta, en la terminologia musical). He pres un valor arbitrari de 1.00 Hz per al DO, a fi de facilitar la comprensió mitjançant una xifra rodona.

Passo per alt el problema de les dificultats originades —i solucionades— per afinar aquesta escala en els instruments de teclat, perquè ara vull arribar a una altra qüestió: l'escala pitagòrica és l'única possibilitat? És clar que no, i de fet es podrien calcular tantes escales tonals com es volgués. La preferència per l'escala diatònica sembla que es deu al fet que l'oïda accepta millor les relacions harmòniques simples i no les que són massa complexes. Pel que sembla, a Pitàgores alguna cosa li va dir la seva pròpia oïda quan va concloure en aquesta escala i no en qualsevol altra. Però, de fet, una escala tonal ni tan sols ha de tenir set sons i podria igualment ser de sis sons o de més de vuit i seguir sent tonal, sempre que la seva base de càlcul fos la sèrie d'harmònics d'un so fonamental. Sigui quina sigui, l'escala calculada a partir de relacions harmòniques serà una escala tonal, independentment dels sons que tingui o de com s'ordenin.

Però el tema encara no s'esgota. Si els harmònics d'un so fonamental són d'una quantitat infinita, es pot deduir que la quantitat possible d'escales tonals també ho és, fins i tot per a un sol so fonamental. El camp de la música tonal, per tant, està lluny d'haver-se esgotat tal com es va afirmar a principis del segle XX. El límit de la tonalitat estaria només en la capacitat perceptiva de l'oïda i, probablement, en la construcció d'instruments.

I aquesta no seria, encara, l'última conseqüència de les possibilitats del càlcul. L'atonalitat, que és el segell de la música contemporània, és inviable perquè tan bon punt generem un so, encara que sigui només un, es produeixen harmònics, tots en relació al to fonamental. Per descomptat, gràcies a procediments artificials, avui en dia es poden produir sons purs, sense harmònics, i organitzar-los a voluntat amb eines electròniques per a compondre música, fins i tot sense observar cap relació harmònica entre sons purs, de la qual cosa en resultaria, efectivament, una música atonal si es volgués. En aquest sentit, s'han proposat diverses teories de suposada base científica per als compositors del corrent atonalista, com per exemple l'espectralisme, un corrent teóricoestètic iniciat entre els anys 60 i 70 del segle passat i vigent en l'actualitat, que estudia precisament aquestes possibilitats mitjançant l'anàlisi segons la sèrie de Fourier, sostenint fins i tot que no hi hauria diferència essencial entre el soroll i els sons anomenats musicals. Per cert, que el soroll seria la zona més extrema de l'atonalisme per la barreja de sons amb absència total de qualsevol relació harmònica. En tot cas, el sol fet de descartar expressament tot el que sigui una relació harmònica en combinar sons, encara que no s'arribi a l'extrem del soroll, ve a ser la negació per principis de les qualitats intrínseques del so, com a base per a compondre música.

No seria del tot errat pensar que tot plegat és un gran contrasentit que obre una porta cap a un possible canvi de punts de vista en la música del futur. Quan els oients discrepen amb les orientacions més acceptades per la música contemporània, potser hauríem de prestar-los una mica més d'atenció. Potser ells, intuïtivament, ens estan

indicant un camí que la ciència podria corroborar.

## **GUSTAVO BRITOS ZUNÍN**

---

### Gustavo Britos Zunín

Pianista, compositor i pedagog uruguaià, actualment es dedica principalment a la composició i a oferir classes magistrals i cursos intensius per a estudiants avançats. Investigador en diverses branques del coneixement, ha publicat diversos articles analítics sobre els problemes actuals de la composició i la teoria general de la música. Autor d'una metodologia [...]

[Llegir més](#)

